



**Aplicaciones tecnológicas de la cuarta revolución industrial: Gestión de recursos naturales
y la contaminación, aplicabilidad en Colombia**

Johnatan David Carrillo Franco

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Gestión Ambiental

Tutora
Luisa María Gómez Peláez, Magíster (MSc)

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Especialización en Gestión Ambiental
Medellín, Antioquia, Colombia
2022

Cita	(Carrillo Franco, 2022)
Referencia	Carrillo Franco Johnatan David (2022). <i>Aplicaciones tecnológicas de la cuarta revolución industrial: Gestión de recursos naturales y la contaminación, aplicabilidad en Colombia 2022</i> [Trabajo de grado especialización].
Estilo APA 7 (2020)	Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



Especialización en Gestión Ambiental, Cohorte III.

Grupo de Investigación Seleccione grupo de investigación UdeA (A-Z).

Seleccione centro de investigación UdeA (A-Z).



Elija un elemento.

Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Cespedes

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla

Jefe departamento: Diana Catalina Rodríguez Loaiza

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Tabla de contenido

Resumen	1
1. Introducción.....	5
2. Objetivos.....	7
3. marco teórico	8
3.1. Recursos naturales y desarrollo tecnológico	9
3.2. Disminución de la calidad del medio natural	10
3.3. Desarrollo Sostenible	11
3.4. Gestión de recursos naturales	13
3.5. Control de la contaminación	13
3.6. Revoluciones tecnológicas y del conocimiento	16
3.7. Cuarta Revolución industrial (4RI, Industria 4.0 o tecnología 4.0)	17
4. Metodología.....	19
4.1. Revisión bibliográfica sistemática: donde se identifiquen o apliquen desarrollos tecnológicos relacionados a la gestión de recursos naturales y control de la contaminación. ..	19
4.2. matriz de análisis para relacionar los conceptos de Gestión Ambiental propuestos: con las columnas de tecnologías previamente identificadas, para observar la aplicación de estas tecnologías en esta ultima	21

4.3.	Análisis a través de las principales implicaciones de la aplicación de las tecnologías	22
5.	Resultados y análisis.....	24
5.1.	Identificación de los principales desarrollos tecnológicos de la cuarta revolución industrial.	24
5.2.	Tecnología de la cuarta revolución industrial en la gestión de los recursos naturales y la contaminación.	27
5.3.	Implicaciones de los desarrollos tecnológicos de la cuarta revolución industrial, a la gestión de recursos naturales y control de la contaminación en el contexto colombiano.	43
5.4.	tendencias de los desarrollos tecnológicos de la cuarta revolución industrial, en la gestión de recursos naturales y control de la contaminación en el contexto colombiano.	47
6.	Conclusiones.....	49
7.	Referencias	51
8.	Anexos	45
8.1.	Anexo 1: Búsquedas booleanas aplicadas.	45
8.2.	Anexo 2: Matriz Resultados de búsqueda inicial,	54

Lista de tablas

Tabla 1 los niveles máximos permisibles a condiciones de referencia para contaminantes criterio, en Colombia. 15

Tabla 2 Sensores evaluados por la EPA, y algunas características de los mismos, en los cuales se establece el nombre, la tecnología en la que se basa el sensor, el rango de detección del contaminante estudiado, la exactitud, precisión y límites..... 1

Tabla 3 Resumen de las implicaciones de las tecnologías de la cuarta revolución industrial en el contexto Colombiano, fuente Elaboración Propia..... 46

Lista de gráficos

Gráfico 1 Flujograma de proceso de la metodología aplicada en la monografía. Fuente Elaboración propia 23

Gráfico 2 Análisis de Co-ocurrencias a partir de 200 referencias bibliográficas, se observan las principales tecnologías, a mayor diámetro en el círculo mayor número de apariciones en la bibliografía, elaborado a partir del software VOSviewer. Elaboración propia..... 24

Gráfico 3 Porcentaje de artículos encontrados según aplicación a cada recurso, se resalta la aplicación principalmente de tecnología en el agua 27

Gráfico 4 Cantidad de artículos encontrados clasificados inicialmente por recurso (agua, aire y suelo) y según cada tecnología. Resalta los sistemas ciber físicos (CPS) en el agua, el uso de drones en el aire y el análisis de datos en el suelo 28

Resumen

El presente trabajo se realiza con el objetivo identificar las tecnologías asociadas a la cuarta revolución industrial que empezó en el año 2011, teniendo en cuenta que esta trajo consigo avances tecnológicos relacionados con la tecnología digital (Análisis de datos, inteligencia artificial, cloud computing y el internet de las cosas) y la tecnología física (Drones, sistemas ciber físicos, sensores, y la robotica) y que han tenido aplicación principalmente en la fabricación de bienes y servicios que se relaciona con los medios de producción. En segundo lugar establecer como se están aplicando estos avances tecnológicos en la gestión de los recursos naturales y la contaminación, para lo cual se revisa la información bibliográfica relacionada con aplicaciones donde se involucre procesos de estudio, monitoreo, control o solución a la contaminación o los recursos naturales utilizando alguna de las tecnologías ya mencionadas, finalmente establecer, como estos avances tecnológicos podrían ser aplicados a la gestión de los recursos naturales y la contaminación, en el contexto colombiano, teniendo en cuenta que existen limitaciones en la normatividad y la infraestructura de comunicaciones e internet (necesaria para estas tecnológicas) en el país.

Se identificaron las principales tecnologías utilizando un análisis bibliométrico de co-ocurrencias de palabras clave con el software y una muestra de 2000 artículos en formato .csv, y se estableció cuales tecnologías eran las más mencionadas por los autores; se estudiaron las implicaciones de aplicar estas tecnologías a partir de un cuadro de análisis donde se cruzaron las tecnologías con cuatro criterios de análisis, como son marco legal, costos, aplicabilidad en la gestión ambiental y requerimientos técnicos y operativos, y finalmente, se plantearon posibles escenarios en forma de retos que debe superar el país para poder implementar esta tecnología.

Finalmente se halló que dentro de las tecnologías identificadas, (Cloud computing, big data, UAV, Sensores, sistemas ciber físicos, robótica y análisis de datos,) presentan aplicaciones en el monitoreo de los recursos naturales enfocadas principalmente a la captura de datos del estado de los recursos y la contaminación, en procesos de identificación y monitoreo, como son las bases de datos de recursos forestales, el levantamiento de imágenes de vegetación a partir de drones, la robotica para la toma de muestras de suelo y el agua, el uso de drones para el monitoreo de contaminantes del aire, el cloud computing para el procesamiento de grandes volúmenes de datos

y sistemas de sensores que permiten monitorizar en tiempo real el estado de los recursos, principalmente, en el agua y la infraestructura relacionada a ella.

Se presentan las implicaciones de aplicar las tecnologías y se establece que la infraestructura y la normatividad colombiana como los principales retos a superar para poder realizar la implementación de las tecnologías mencionadas anteriormente, de esta manera se plantean que las tendencias futuras de la gestión ambiental.

Palabras clave: Gestión de recursos naturales, contaminación, cuarta revolución industrial, Cloud computing, big data, UAV, Sensores, sistemas ciber físicos, robótica y análisis de datos

Abstract

The present work is carried out with the objective of identifying the technologies associated with the fourth industrial revolution that began in 2011, taking into account that this brought with it technological advances related to digital technology (Data analysis, artificial intelligence, cloud computing and the internet of things) and physical technology (Drones, cyber-physical systems, sensors, and robotics) and that have had application mainly in the manufacture of goods and services that are related to the means of production. Secondly, to establish how these technological advances are being applied in the management of natural resources and pollution, for which the bibliographic information related to applications involving processes of study, monitoring, control or solution to contamination or the using some of the technologies already described, finally establishing, how these technological advances could be applied to the management of natural resources and pollution, in the Colombian context, resources taking into account that there are limitations in the regulations and the communications infrastructure and internet (necessary for these technologies) in the country.

The main technologies were identified using a bibliometric analysis of keyword co-occurrences with the software and a sample of 2000 articles in .csv format, and it was established which technologies were the most mentioned by the authors; The implications of applying these technologies were studied from an analysis table where the technologies were crossed with four analysis criteria, such as legal framework, costs, applicability in environmental management and technical and operational requirements, and finally, possible possible scenarios in the form of challenges that the country must overcome in order to implement this technology.

Finally, it was found that within the identified technologies, (Cloud computing, big data, UAV, Sensors, cyber physical systems, robotics and data analysis,) present applications in the monitoring of natural resources focused mainly on the capture of state data. of resources and pollution, in identification and monitoring processes, such as databases of forest resources, the lifting of images of vegetation from drones, robotics for taking soil and water samples, the use of drones for monitoring air pollutants, cloud computing for processing large volumes of data and

sensor systems that allow real-time monitoring of the state of resources, mainly in water and the infrastructure related to it.

The implications of applying the technologies are presented and it is established that the infrastructure and Colombian regulations are the main challenges to overcome in order to carry out the implementation of the technologies mentioned above, in this way, the future trends of environmental management are proposed.

Keywords: Natural resource management, pollution, fourth industrial revolution, Cloud computing, big data, UAV, Sensors, cyber physical systems, robotics and data analysis

1. Introducción

La sociedad mundial y su forma de producir bienes y servicios, ha experimentado hasta estos tiempos cuatro revoluciones industriales, las maquinas, la electricidad con líneas de producción, los microchips y computadores y la revolución digital. (Ghobakhloo, Fathi, Iranmanesh, Maroufkhani, & Morales, 2021)

Con el avance del desarrollo tecnológico en el mundo, distintas han sido las formas de abordar la relación del ser humano y los recursos naturales, en la cual observamos que estos y los ecosistemas brindan servicios a la sociedad dentro del territorio. Colombia ha adaptado y aplicado diversas tecnologías e instrumentos para la gestión ambiental de los recursos naturales y la contaminación (licenciamiento ambiental, permisos, autorización y concesiones) en la búsqueda del desarrollo sostenible. De esta manera observamos que el desarrollo de tecnologías físicas y digitales, podrían mejorar y diversificar los tipos de estudios que se realizan, la recolección, procesamiento y análisis de datos, el monitoreo y control de variables ambientales, la automatización de procesos, entre otros.

Dentro de la gestión ambiental, se encuentran varios niveles o procesos que se interrelacionan entre sí, siendo desde el nivel macro el Ordenamiento territorial, que determina parte del uso de los recursos y actividades que se determinan en un territorio, busca armonizar los sistemas sociales y económicos con los recursos ecológicos de una zona (Hernández Peña, 2010). A continuación de forma más específica, se encuentra dentro de la gestión ambiental, la gestión de los recursos naturales cuantificarlos, monitorizarlos y establecer formas de uso, que posteriormente, al ser utilizados por el hombre en procesos de transformación, generan algún tipo de materia o energía no valorable, conocida como contaminación del aire, suelo y agua, que sería otro proceso en la gestión ambiental y ex-ante de esta transformación se estudia, controla y monitorea el agua, el suelo, y el aire.

Nuestro país posee grandes riquezas naturales como ecosistemas de Paramo, selvas, nacimientos de ríos importantes a nivel de Suramérica, humedales, entre otros. La existencia de las tecnologías de la cuarta revolución industrial; tecnologías digitales (Análisis de datos, machine learning, Cloud computing, inteligencia artificial) y las tecnologías físicas (Drones, sensores especializados, la robótica, y los sistemas ciber físicos) impactarán el estudio del

medio natural abiótico (suelo, aire, y agua) y la contaminación generada dentro de estas tres matrices de forma positiva, pero teniendo en cuenta algunas implicaciones de nivel normativo y procedimental para la aceptación de estas tecnologías, sus datos y resultados, así como, la necesidad de tecnologías de comunicaciones e internet en todo el territorio nacional (principalmente en zona rural), son limitantes que podrían retrasar su implementación en la gestión ambiental.

Identificar cuáles y cómo se presentan los avances tecnológicos de la cuarta revolución industrial en la gestión de la contaminación y de los recursos naturales, observar las implicaciones de estas tecnologías muestran en lo relacionado a la aplicación en el contexto colombiano y finalmente poder establecer las tendencias futuras y la transformación que podría presentarse, al aplicar las tecnologías dentro de la gestión ambiental; se considera importante, para observar cuales son los retos que debe enfrentar nuestro país en la situación de cambio tecnológicos que se presentan actualmente

2. Objetivos

Objetivo General

Estudiar los desarrollos y aplicaciones tecnológicas de la cuarta revolución industrial, y su uso como herramientas de gestión ambiental (ordenamiento territorial, gestión de recursos naturales y control de la contaminación) en Colombia.

Objetivos específicos

Identificar y revisar los desarrollos tecnológicos de la cuarta revolución industrial que han sido utilizados para la gestión ambiental en los últimos años.

Analizar los mecanismos de aplicación de los desarrollos tecnológicos de la cuarta revolución industrial, en la gestión de recursos naturales y control de la contaminación en el contexto colombiano.

Determinar las implicaciones, así como las posibles tendencias de los desarrollos tecnológicos de la cuarta revolución industrial, en ordenamiento territorial, a la gestión de recursos naturales y control de la contaminación en el contexto colombiano.

3. marco teórico

El diccionario de la RAE muestra 16 definiciones distintas para el término naturaleza, para efectos de este trabajo será adoptada la siguiente: conjunto de todo lo que existe y que está determinado y armonizado en sus propias leyes (tomado de portal web RAE,2020). En este sentido la naturaleza es todo lo que rodea a un individuo, y es de esta forma; como descubrimos que el aire, el suelo, el agua, la fauna, la flora y todo los procesos e interrelaciones que existen entre ellos son naturales a los mismos, es decir; naturaleza.

Ademas debemos atender a un concepto de medio natural, que es una forma de nombrar el conjunto de seres vivos e inertes, que conforman un hábitat formado por espacios y recursos (Frajio Sing, Barrera Hernández, Tapia Fonllem, & Ortiz Valdez, 2018), vemos que en este concepto se transforma lo que existe (la naturaleza como un todo) y lo descompone en sus partes; destacando el hecho de que existe una relación entre seres y el espacio que ocupan, y muestra un concepto de recurso como utilidad que tiene este espacio a dichos seres. Para efectos de a monografía entenderemos naturaleza para referirnos al medio natural.

De los distintos significados que tiene el concepto naturaleza, se extrae la de medio natural, a la cual pertenecen unos recursos naturales. Estos recursos, han servido al desarrollo económico de la sociedad mundial, puesto que, son estos (aire, suelo y subsuelo, agua, fauna y flora) los que suministran los bienes y servicios necesarios para la subsistencia del ser humano y, para el desarrollo tecnológico e industrial: materias primas, que luego se transforman en bienes y servicios. De lo anterior se extrae que, con el avance de la sociedad la evolución del concepto de naturaleza hacia el concepto de recursos naturales cambia hacia algo que enteramente esta al servicio de los seres humanos.

En un contexto histórico y de disputa entre la industrialización y el medio ambiente, se destacan la década de los 50's donde el mensaje fue explotar los recursos naturales para la industrialización, en los 60's se amplía la noción de desarrollo industrial, y se incluyo el ámbito social, admitiendo finalmente que el modelo de desarrollo era incompatible con el medio ambiente. En los 70's se creo una visión de imponer límites al crecimiento, en los 80's se empieza la agenda del desarrollo sostenible y se plantean los objetivos del milenio, y desde la década de los 90's hasta inicio del nuevo siglo, se revela que el desarrollo sostenible es un problema de protección

ambiental y lucha contra la pobreza, pero sin cambio en el modelo neoliberal. En la década de 2010, se busca entonces tratar de nivelar la sostenibilidad con el crecimiento económico, y oficialmente se desarrolla la agenda 2030. (Domínguez, León, Samaniego, & Sunkel, 2019).

El libro Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad (Domínguez et al., 2019), continua ampliando el concepto de recursos naturales a través de una descripción mayor de los mismos y los convierte en el concepto de capital natural, expresando “la manipulación que las sociedades humanas hacen de los elementos y procesos de la naturaleza con el objeto de otorgarles valor de uso e intercambio”(Domínguez et al., 2019), una concepción mayor que el concepto de recursos naturales visto en el párrafo anterior, y teniendo en cuenta que estos, hacen parte del medio ambiente, de la naturaleza y con ello, de los procesos e interrelación de los mismos, empezamos a ver los recursos naturales o capital natural, más que como medios que sirven a la producción, a verlos como servicios ecosistémicos que brinda el medio ambiente natural, y que tienen valor de existencia propia y de utilidad para el desarrollo del ser humano, y los cuales se pueden analizar desde muchos puntos de vista.

3.1. Recursos naturales y desarrollo tecnológico

Para entender el desarrollo del ser humano a nivel económico, se debe tener en cuenta el concepto de medios de producción y su relación con la transformación del ambiente para la adquisición de materias primas y servicios ecosistémicos. Estos últimos hacen parte del eslabón de producción industrial del primer, segundo, tercer y cuarto nivel de transformación a través del uso de distintas técnicas (Monteforte, 2018).

Según lo expresado por Monteforte (2018), la evolución de los medios de producción estuvo centrada en el desarrollo de las herramientas, debido a que gran parte de la evolución de nuestro conocimiento hasta hace algunos milenios, tuvimos que dedicarla a reconocer las distintas sustancias o elementos naturales, solos o combinados. A su vez, avanzamos en el conocimiento sobre cómo hacernos con estos elementos naturales cada vez más fácilmente. Todo este desarrollo posibilitó la expansión cuantitativa del género humano (Monteforte, 2018).

El concepto de técnica es la transformación autónoma de la práctica, la ciencia y la tecnología a conceptos interdependientes y estos a su vez estos son conjugados en tecnociencia

(considerada como la aplicación de la ciencia en el desarrollo de tecnología). Por otra parte, las herramientas desarrolladas con base en la tecnociencia, vistas estas como un elemento de los medios de producción, para el desarrollo de maquinarias y equipos más especializados que se aplican en la transformación del medio ambiente en una relación en espiral ascendente, donde a través de la aplicación de la tecnociencia se desarrollan nuevas herramientas que sirven a la primera para seguir desarrollando otras herramientas más avanzadas (Giraldo Gutiérrez, 2012). El desarrollo de herramientas y máquinas a partir del avance del conocimiento humano ha permitido trascender hasta lo que hoy se conoce como cuarta revolución industrial, reorganizando la fábrica y estableciendo nuevas tecnologías a la misma. (Monteforte, 2018).

3.2. Disminución de la calidad del medio natural

La transformación del medio natural vista desde una perspectiva económica, como extracción de recursos naturales, ha conllevado la aplicación de la tecnociencia, las herramientas y técnicas que se han desarrollado en las cuatro revoluciones industriales que atravesamos como humanidad, en la búsqueda de producir bienes y servicios. Esta transformación de los recursos naturales tiene implícitamente una disminución y afectación en calidad y cantidad de estos mismos recursos naturales, es decir, la economía lineal vigente, que conlleva al agotamiento de los recursos naturales y a la producción de contaminación (Porcelli & Martínez, 2018).

Luego de que se realiza la transformación de los recursos naturales en bienes y servicios a través de los procesos industriales, queda como resultado de este proceso, una materia o energía no deseable, que se conoce como contaminación. Es decir, la presencia de componentes o sustancias dañinas o agentes extraños de naturaleza química, física o biológica en el medio ambiente (Cortes, 2020). Además de la contaminación, se afecta la disponibilidad y cantidad de recursos naturales del medio natural en los ecosistemas, generando con esto fenómenos como la deforestación, disminución de la disponibilidad del agua, afectaciones en el paisaje, etc.

La contaminación y la disminución de la disponibilidad de los recursos naturales se podría explicarse por un concepto denominado entropía, debido a que 1) la energía no se crea ni se destruye 2) la materia puede tener una cantidad y calidad dada (Escola & Palma, 2019), lo cual explica por qué después del proceso de transformación de los recursos naturales se genera

contaminación y se disminuye la disponibilidad y cantidad del recurso, en otras palabras, en los procesos productivos la materia y la energía se transforma en otras sustancias o formas de energía que afectan el medio natural (aire, agua y suelo), de forma tal que altera los procesos ecosistémicos naturales.

En desarrollo del concepto de contaminación según lo expresado por Ugliati (2018) en el libro *Decrecimiento vocabulario para una nueva era* ((Leff, Demaria, & Alisa, 2018), explica que para que un sistema, como el medio natural, cambie de un estado A un estado B se necesita energía, por lo que aumentaría la entropía del sistema, volviendo el proceso irreversible, es decir, la contaminación no se puede volver a convertir en el recurso original de donde parte. Pero esta misma puede convertirse en un nuevo elemento con la aplicación de energía. Este proceso entrópico explica los conceptos de disponibilidad decreciente de los recursos naturales, la disminución de su calidad, el aumento de la contaminación en forma de sustancias o energía en el ambiente (Ugliati, 2018)

En síntesis, buscando la satisfacción de las necesidades humanas y el consumo según el modelo económico actual (de producción y crecimiento), se utilizan los recursos naturales, pero como moneda de cambio al realizar los procesos de producción se generan cantidades equiparables de contaminación, y disminución en la disponibilidad o cantidad de recursos naturales, teniendo en cuenta el principio de entropía en la naturaleza. Dado lo anterior, se han desarrollado estrategias por parte de los gobiernos, en un marco de referencia de aplicación global que se conoce como desarrollo sostenible, el cual busca la utilización de los recursos naturales de forma tal que se mantengan a lo largo del tiempo en cuanto a su cantidad y calidad.

3.3. Desarrollo Sostenible

El concepto de desarrollo sostenible se origina en la década de los 80's, a través del informe de Bruntland, y se formalizó su definición en la cumbre de Rio de Janeiro en el año 1992. El desarrollo sostenible es la unión de tres componentes básicos y sus interrelaciones: lo social, lo económico y lo ambiental, tal como aparece en el tercer principio de la Cumbre de Rio (1992): el derecho al desarrollo debe ejercerse de tal forma que se garantice las necesidades de desarrollo y ambientales de las generaciones presentes y futuras. Ampliando un poco el concepto de desarrollo

sostenible actualmente se ha dividido en 17 objetivos en distintas esferas, además, este necesita del impulso de la dimensión política, productiva, tecnológica, internacional y administrativa (Lopez, 2020).

En el contexto colombiano la implementación de los Objetivos de Desarrollo sostenible (ODS) se evidencia a través del marco normativo y política del país, de esta manera encontramos que desde el año 2014 han estado dentro de la agenda política de los gobiernos nacionales y locales a través de la implementación de planes y proyectos que apunten al cumplimiento de estas metas, En el año 2015 con la expedición del decreto 1076, el cual agrupa la normatividad ambiental relacionada con el licenciamiento ambiental, los permisos, autorizaciones, concesiones, así como la reglamentación del uso de los recursos naturales en nuestro país. Para el año 2017, 21% de los departamentos los incorporó de manera significativa, 49% hizo una utilización moderada, y 30% hizo una utilización tangencial de los mismos a través de la implementación de programas y proyectos relacionados directamente con los ODS, o que de cierta forma ayudaran al cumplimiento de las metas establecidas por estos (Chavarro et al., 2017).

Algunas de las herramientas utilizadas para implementar a nivel local estos ODS es a través de la formulación de los Planes de Ordenamiento Territorial, políticas y estrategias establecidas por el Sistema Nacional Ambiental (SINA) (en cabeza del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible -MADS-), la gestión de los recursos naturales y el control de la contaminación. Los Planes de Ordenamiento Territorial es una herramienta de planeación del uso de territorio y sus recursos, una síntesis presentada por Moreno (2020) lo define como un mecanismo de distribución del territorio, instrumento de protección ambiental y herramienta de operación administrativa, que permite el uso óptimo del territorio (Moreno, 2020). Este sirve para tomar decisiones de uso sobre el suelo, y la permisividad de actividades productivas en el territorio, establecer zonas de aprovechamiento o protección de los recursos naturales, y complementar el cumplimiento de la normatividad relacionada con el uso de los mismos (control de la contaminación).

Finalmente, la gestión ambiental inicia con las políticas públicas dadas a través de ordenamiento del territorio y la normatividad ambiental, y finaliza con los instrumentos de control ambiental que se utilizan en esta. De forma más específica, encontramos la gestión de los recursos naturales que busca estudiar el estado de los recursos naturales relacionada con la disponibilidad,

calidad y uso de los mismos dentro de un área determinada, así como también el control de la contaminación la cual se refiere a la medición, monitoreo y tratamiento de los contaminantes que ingresan en el medio natural (específicamente aire, agua y suelo)

3.4. Gestión de recursos naturales

La gestión de los recursos naturales en las matrices de aire, suelo y agua, se podría definir como el conjunto de actividades que se realizan para estudiar y analizar el estado y la calidad ecológica/ambiental del recurso, la preservación y el manejo de estos recursos. También, podríamos hablar del monitoreo de la biodiversidad en el entendido que son el conjunto de actividades que se realizan para conocer el estado, entender los procesos naturales, conocer la población de un ecosistema, entre otras variables y datos, que ayudan a entender mejor al medio natural.

Chediak (2009) presenta la siguiente definición sobre gestión de los recursos naturales, herramienta esencial para garantizar la conservación, el manejo y el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad en sus distintos niveles de integración, desde los genes hasta las comunidades y ecosistemas. Además, amplía explicando que el monitoreo de recursos naturales permite a los tomadores de decisiones, científicos y a los gestores ambientales, responder distintas preguntas sobre una o todas las matrices ambientales, por ejemplo; conocer las poblaciones de peces, o la carga contaminante del aire en una zona, entender el comportamiento de una comunidad, o el estado de conservación o calidad de un hábitat.

3.5. Control de la contaminación

Por su parte el control de la contaminación, es una actividad llevada a cabo para realizar el monitoreo y control de un contaminante (materia o energía) en el medio natural: agua, aire y suelo. La contaminación es la generación de materia y energía Mayr (2011); define claramente “los procesos del desarrollo económico trajeron consigo diferentes problemas ambientales relacionados con la producción de desechos, la afectación de los ecosistemas acuáticos y terrestres, las numerosas emisiones atmosféricas con sus impactos sobre la calidad del aire y la atmósfera”. De esta manera entendemos que la contaminación se presenta de manera distinta en cada una de las matrices.

Frente a la contaminación en el aire, cabe señalar que la fuente se determina en fuentes fijas, móviles y de área; siendo el material particulado, O₃ (Ozono), NO_x (óxidos de nitrógeno), SO_x (óxidos de azufre), los contaminantes criterio (Valencia, Suárez Castaño, Rodrigo; Sánchez, Cardozo, Bonilla, & Buitrago, 2016). Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (2021); los contaminantes criterio y sus límites máximos para la protección de la salud corresponden a material particulado (PM_{2.5}) (5 µg/m³ de media anual - 15 µg/ m³ de media diaria), (PM₁₀) (15 µg/ m³ de media anual - 45 µg/m³ 24 de media diaria), Ozono (O₃) (100 µg/m³, máximo diario de periodos de 8 horas , 60 µg/m³, promedio de periodos de 8 horas, temporada máxima , Dióxido de Nitrógeno (NO₂) (10 µg/m³ de media anual - 25 µg/m³ de media diaria) y Dióxido de Azufre (SO₂) (40 µg/m³ de media diaria).

A nivel nacional la Resolución 2254 del 12 de noviembre de 2017 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión y adopta disposiciones para la gestión del recurso aire en el territorio nacional, estableciendo los contaminantes criterios y sus niveles permisibles como los siguientes.

Contaminante	Niveles Máximos permisibles	Tiempo de exposición
PM10	50	Anual
	100	24 horas
PM 2.5	25	Anual
	50	24 horas
SO2	50	24 horas
	100	1 horas
Contaminante	Niveles Máximos permisibles	Tiempo de exposición
NO2	60	Anual
	200	1 hora
O3	100	8 horas
CO	5000	8 horas
	35000	1 horas

Tabla 1
los niveles máximos permisibles a condiciones de referencia para contaminantes criterio, en Colombia.

Por su parte en la matriz agua la contaminación se presenta en forma de vertimientos y residuos sólidos de origen antrópico (por ejemplo; plásticos, materiales de construcción, etc.). La contaminación por vertimientos afecta los parámetros físico químicos del agua; dependiendo de la destinación de uso de la misma, la presencia de metales pesados, la materia orgánica, y contaminantes persistentes, como los antibióticos, (Valencia et al, 2016).

Para la matriz del suelo, encontramos que la generación de residuos sólidos es la principal fuente de contaminación del suelo, contaminantes como las pilas, residuos de aparatos electrónicos, bombillas, plásticos, llantas, plaguicidas, y aceites los que destacan principalmente como fuentes de generación de contaminación en el suelo, además de sustancias líquidas en forma de vertimiento que son dispuestas directamente sobre el mismo, y de forma difusa a través de aplicaciones de químicos con grados de toxicidad como son los agroquímicos, residuos industriales líquidos y sólidos. (Valencia et al, 2016).

El adecuado control de la contaminación permite prevenir, monitorear y controlar los contaminantes, con el propósito de disminuir su impacto en cada una de las matrices. La aplicación

de tecnologías de la cuarta revolución industrial (por sus siglas en inglés, 4RI) que permitan realizar estudios de cantidad de contaminantes o su detección podrían aplicarse en los estudios de esta, para poder mejorar los procesos de prevención, monitoreo y control.

3.6. Revoluciones tecnológicas y del conocimiento

El desarrollo de la sociedad y la producción de bienes y servicios ha sido posible y ha evolucionado a través del conocimiento, según la RAE el conocimiento es averiguar por el ejercicio de las facultades intelectuales de la naturaleza, cualidades y relaciones de las cosas (RAE, 2020). Pero la evolución del conocimiento a través del desarrollo de la sociedad ha traído hacia nuestros días un mayor acceso a la información través del avance en la tecnología, la computación y las comunicaciones, en lo que se conoce como sociedad del conocimiento. En palabras de Zúñiga et al (2018), el conocimiento en nuestros tiempos no se puede limitar únicamente al ámbito académico, pues todos los contextos elementales de una sociedad están involucrados, lo que implica un cambio en el alcance del saber (Pérez Zúñiga, Mercado Lozano, Martínez García, Mena Hernández, & Partida Ibarra, 2018)

La sociedad del conocimiento se basa en el avance de la sociedad a través del conocimiento aplicado a través de la ciencia, la técnica y la tecnología, usando los medios de comunicación (internet, dispositivos móviles, 5G, entre otros) para el intercambio de información, incluso en tiempo real, y dicho conocimiento es aplicado al desarrollo de más conocimiento con el objetivo del desarrollo social. A la par de la construcción de esta sociedad del conocimiento ha aparecido la sociedad de la información que consiste en la vertiginosa evolución tecnológica y por el incremento exponencial en los niveles de información generada y difundida a través de las tecnologías de la información y las comunicaciones –TIC-. (Pérez Zúñiga et al., 2018)

Para lograr esa interconexión entre la sociedad del conocimiento y la sociedad de la información ha mediado el uso de la ciencia, la tecnología, la técnica, siendo las dos primeras acuñadas en un término más reciente conocido como tecnociencia. Esta aplicación continua de estos tres elementos ha llevado al desarrollo de las herramientas tecnológicas sobre la cual se empiezan a construir nuevas aplicaciones a nivel industrial conocida como *Cuarta revolución industrial*. Las bases sobre las que se funda esta nueva revolución industrial consisten en el

procesamiento de un gran volumen de datos y la computación (Giucci, 2020). Como ya se mencionó, el intercambio de información a través de las tecnologías de comunicación, sirven de base para el desarrollo de más y mejores tecnologías de procesamiento y análisis de la información en la sociedad del conocimiento.

3.7. Cuarta Revolución industrial (4RI, Industria 4.0 o tecnología 4.0)

El mundo tecnológico e industrial actual ha experimentado cuatro revoluciones industriales. Las revoluciones industriales se definen como la aparición de una o varias tecnologías o descubrimientos disruptivos con la capacidad de generar un cambio por completo las formas de producción industrial. La primera revolución industrial surgió a finales del siglo dieciocho (18) en el Reino Unido, con la energía a vapor, mecanización de la agricultura, la manufactura y el transporte; la segunda revolución industrial a principios del siglo veinte (20) en Estados Unidos de América, con la energía eléctrica y la producción en serie. La tercera revolución industrial se cataloga desde mitad del siglo veinte con la creación de semiconductores, plataformas digitales, y las computadoras. (Ghobakhloo, 2020).

La cuarta revolución industrial empezó en el año 2011 (Ghobakhloo, 2020), y se define como la combinación de los sistemas de producción físicos existentes, las aplicaciones y sistemas digitales y biológicos, transformando completamente el sistema de producción, gestión y gobernanza; basado en los sistemas ciber-físico (integración de tecnologías físicas o hardware y tecnologías digitales o software) (Hernandez & Rivas, 2020). Se entiende también como la integración de distintos aspectos como la implementación y unión de tecnologías de información, digitales y de operación (IDOT en Inglés), como sensores y controles industriales, vehículos guiados automáticamente, robots, realidad virtual y aumentada, análisis de datos, computación en la nube, internet de las cosas (IoT), computación de alta eficiencia energética, diseño y manufactura asistida por computador (HPC-CADM en inglés), e inteligencia artificial (Ghobakhloo, 2020).

La tecnología desarrollada en el marco de la cuarta revolución industrial tiene los componentes de las tecnologías físicas (hardware) con el componente digital (software) y permea directamente en todos los medios de producción y productos inteligentes en fábricas inteligentes.

Para esto se han delimitado las tecnologías de la siguiente manera: Tecnologías físicas: bioeconomía y biotecnología, Robótica, Impresión en 3D, Internet de las Cosas (IoT), Transmisión, almacenamiento y captura de energía, 5G, Nanotecnología, Tecnologías digitales Inteligencia Artificial (IA), Blockchain, Nuevas tecnologías computacionales, Realidad virtual y aumentada, Big Data, Machine Learning. (Abdirad & Krishnan, 2020)

Finalmente en síntesis, dentro de la naturaleza, el medio natural recibe el nombre de recursos naturales (agua, aire y suelo) cuando son extraídos por el hombre, para su posterior transformación, distribución y consumo, a través de procesos industriales, que dejan materia y energía residual en forma de contaminación. Estos procesos industriales han venido transformándose con el avance del conocimiento, la ciencia y la tecnología, hasta nuestros días de tecnociencia en lo que actualmente se conoce como cuarta revolución industrial (4RI), que trajo consigo un cambio tecnológico, impulsado por el desarrollo de tecnologías de comunicación, la computación y la automatización de procesos, en un entramado de tecnologías físicas y digitales. Estas últimas se han aplicado a distintos aspectos de los procesos productivos de la sociedad entre las que se encuentran aplicaciones dentro de la gestión de los recursos naturales y el control de la contaminación.

4. Metodología

4.1. Revisión bibliográfica sistemática: donde se identifiquen o apliquen desarrollos tecnológicos relacionados a la gestión de recursos naturales y control de la contaminación.

4.1.1. Definir las palabras o términos clave para la búsqueda: Para definir los términos de búsqueda se realizó una división en dos grandes conceptos como son gestión de recursos naturales y control de la contaminación, y para cada uno de estos se definieron términos aún más específicos relacionados con la gestión de recursos naturales: “conservación”, “monitoreo”, “Restauración” y relacionados con el control de la contaminación: “detección”, “medición”, “tratamiento”. Para definir las tecnologías que serían incluidas en el análisis, se realizó una revisión preliminar de los principales autores que han estudiado este tema de la cuarta revolución industrial. Entre ellos están Ghobakhloo, Fathi, Iranmanesh, Maroufkhani, & Morales y Lu.

4.1.2. Se llevó a cabo un estudio bibliométrico de coocurrencias de palabras clave aplicado a un listado de 2000 referencias bibliográficas de la base de datos Scopus exportadas a través de un archivo .csv, con un método de conteo completo, y un mínimo de coocurrencias por palabra de 10, que contuvieran la palabra clave “industry 4.0” o “fourth industrial revolution” del cual fue realizado utilizando el software VOSviewer 1.6. A partir de lo anterior se identificaron las tecnologías más relevantes de la cuarta revolución industrial, teniendo en cuenta que estas son las que más conteos tuvieron en el análisis de coocurrencias

4.1.3. Periodo de búsqueda de información bibliográfica (artículos) entre el año 2011 y 2021, indexados, del tipo artículo científico o de revisión.

4.1.4. Identificación de la tecnologías y búsqueda en bases de datos: Se hizo uso de las bases de datos digitales de la biblioteca central de la Universidad de Antioquia para el rastreo de artículos científicos y artículos de revisión. Utilizando para esto fórmulas booleanas, como se muestra en el documento ANEXO No 1. *Búsquedas booleanas aplicadas*. En las cuales se mezclaron los términos claves identificados en el literal (a) con la tecnología referente identificada en una matriz de columna (tecnología) versus concepto clave de gestión ambiental. Se definieron además criterios relacionados al área de estudio ANEXO 2. *Matriz resultados de búsqueda inicial*

4.1.5. Definición de criterios para selección de artículos: Se estudiaron y analizaron criterios para **incluir trabajos científicos donde se relacionará y estudiarán una:**

- Una tecnología identificada en el literal (4.1.3),
- Que su aplicación se dé sobre un recurso natural, que pertenezca al campo de las ciencias ambientales, ingeniería, y temáticas relacionadas con estos dos aspectos, aplicación a escala global y de Colombia,
- El artículo explique, estudie o informe sobre una o varias aplicaciones de las tecnologías del literal (4.1.3) aplicada a la gestión de recursos naturales y control de la contaminación.

4.1.6. Realizar iteraciones en la búsqueda de referencias bibliográficas: para incluir artículos que no fueron encontrados en los literales anteriores, obedeciendo a necesidades específicas. Como resultado de esto se construyó la Matriz de selección definitiva ANEXO 3.

4.2. matriz de análisis para relacionar los conceptos de Gestión Ambiental propuestos: con las columnas de tecnologías previamente identificadas, para observar la aplicación de estas tecnologías en esta última

4.2.1. Diseño de matrices de análisis: para sistematizar la información de análisis, se diseñaron las siguientes matrices:

4.2.2. Matriz de búsqueda inicial (anexo 1): la cual muestra la cantidad de artículos encontrados al combinar el término de búsqueda de la tecnología con el término de búsqueda de gestión de recursos naturales o control de la contaminación.

4.2.3. Matriz de selección definitiva (Anexo 2): la cual consiste en un arreglo sobre la horizontal donde se señalan características del artículo seleccionado así: Autor, año, tecnología, aplicado a recurso (suelo, aire agua), país de origen del estudio, grupo gestión de recursos naturales o control de la contaminación, término de búsqueda (conservación, restauración, etc...), Resumen, Dispositivo / artefacto / software, y finalmente la

4.2.4. Clasificar los artículos; a partir de un análisis de los artículos seleccionados se intenta hallar con la información brindada por el documento la información suficiente para completar la base de datos del literal anterior

4.2.5. Agrupar las tecnologías previamente identificadas en grandes grupos de tecnología: como IoT, Big data, robótica, sensores, dichos grupos saldrán de reunir los artículos encontrados en el literal (a), y observar las aplicaciones de cada tecnología.

4.2.6. Análisis de la tecnología: a partir de la matriz No 2, se realiza el análisis de cada aplicación tecnológica en gestión ambiental, teniendo en cuenta cuatro criterios que son: Aplicación identificada, viabilidad legal y normativa, Requerimientos técnicos y operativos.

4.3. Análisis a través de las principales implicaciones de la aplicación de las tecnologías

4.3.1. aplicabilidad de los grandes grupos de tecnologías en la gestión de recursos naturales y la contaminación en el contexto colombiano

4.3.2. Establecer las relaciones de aplicabilidad de cómo y cuales tecnologías se podrían aplicar a que la gestión de recursos naturales y la contaminación, teniendo en cuenta criterios de normatividad y aceptabilidad, costos, requerimientos técnicos y logísticos.

4.3.3. Para cada gran grupo de tecnologías establecer las ventajas y desventajas, y las posibles perspectivas futuras de aplicación en el contexto colombiano

4.3.4.

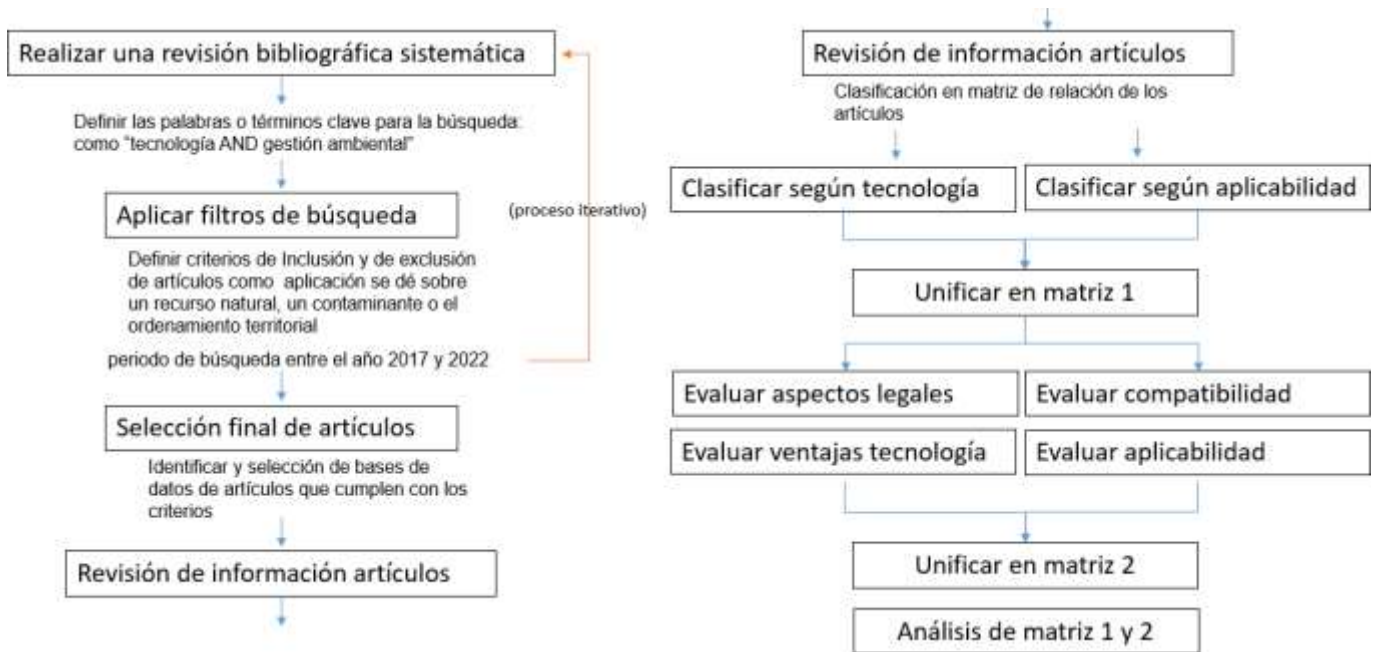


Grafico 1

Flujograma de proceso de la metodología aplicada en la monografía. Fuente Elaboración propia

5. Resultados y análisis

5.1. Identificación de los principales desarrollos tecnológicos de la cuarta revolución industrial.

Para llevar a cabo la identificación de las tecnologías que pertenecen a la cuarta revolución industrial se llevó a cabo un análisis bibliométrico de coocurrencias utilizando el software VOSviewer 1.6, a un archivo bibliográfico tomado de la base de Scopus el cual incluye 2000 referencias seleccionadas a partir de la búsqueda de los términos “technology” y “fourth industrial revolution”, y luego con el software se filtraron las palabras claves que tuvieran al menos 10 conteos, y se omitieron las palabras claves con poca relevancia.

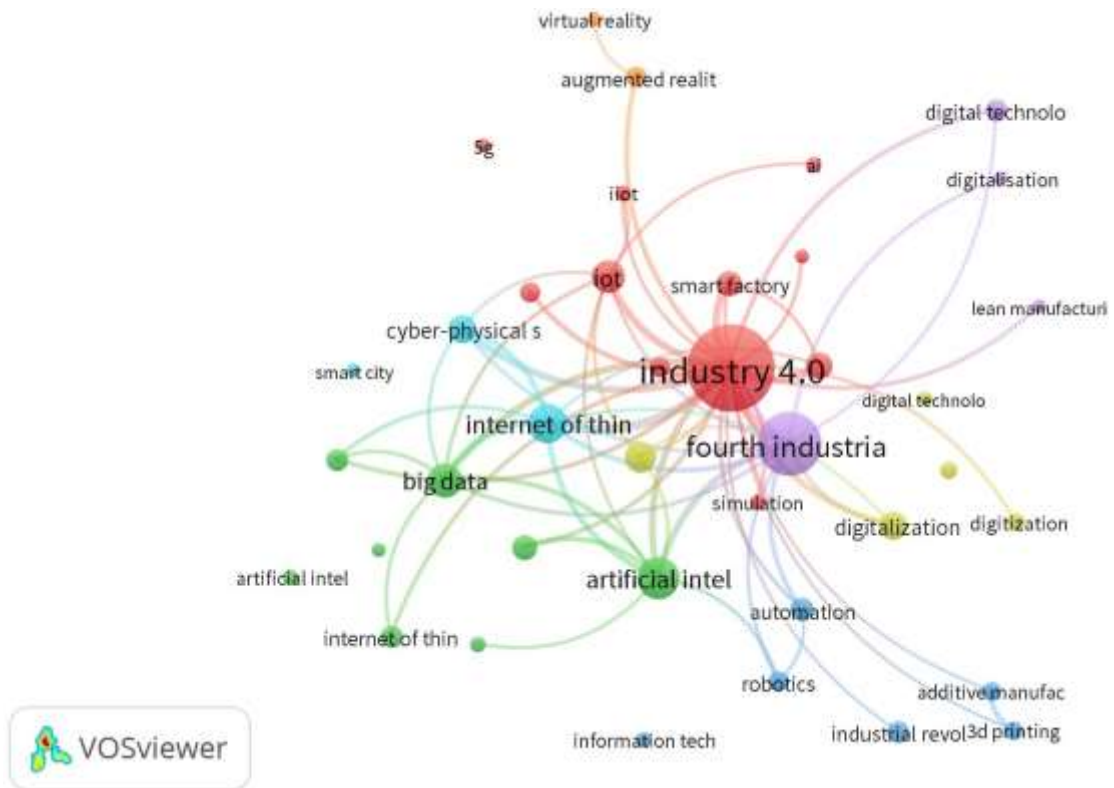


Grafico 2

Análisis de Co-ocurrencias a partir de 200 referencias bibliográficas, se observan las principales tecnologías, a mayor diámetro en el círculo mayor número de apariciones en la bibliografía, elaborado a partir del software VOSviewer. Elaboración propia

Como se observa en el Grafico No 1, se definen 7 clústeres (de distintos colores) en donde los términos principales que destacan son “internet of thing” (aguamarina), “big data / inteligencia

artificial” (verde), “automatitacion” (azul), “blockchain” (amarillo), augmented reality (naranja) y “embed systems” (azul), y alrededor de estos las palabras con las que más se relacionan u ocurren en los trabajos investigativos. Además de estos clústeres, la búsqueda arrojó palabras clave que resaltan por su tamaño (mayor repetición) como son robotic, machine learning, cloud computing, Cyber physical systems, debido a que son estos los términos que más se repiten en las palabras clave de las referencias utilizadas en el procesamiento.

El análisis bibliométrico muestra unas tecnologías a través del conteo de repeticiones de términos o palabras clave. Al observar lo que mencionan algunos autores, destaca el hecho que las tecnologías de la cuarta revolución industrial son bastante recientes, además se observa que algunos autores tienen variadas definiciones para las tecnologías pertenecientes a la cuarta revolución industrial.

La cuarta revolución industrial se puede entender como la mezcla de tecnologías preexistentes las cuales han sido optimizadas (más rápido, eficiente, mas eficaces, menor costo, mayor producción etc.) o mejoradas (mas características, mayor capacidad, menos uso de recursos, mayor rendimiento etc) con un nuevo tipo de tecnología Digital, en lo conocido como Transformación Digital, esta última presenta un avance adicional aplicado a través de la automatización, la robótica y el intercambio de datos (Mora-sánchez & Guerrero-marín, 2020). A partir de esta idea podemos pensar que la cuarta revolución industrial está enfocada principalmente al “Smart Factory”, donde se busca redefinir a las compañías para permitir crear y distribuir bienes y servicios haciéndolo mucho más flexible, inteligente equipando los procesos productivos con sensores, actuadores, sistemas autónomos, y donde las maquinas alcancen altos niveles de optimización y automatización (Kamaruzamani, Hamid, Mutalib, & Rasul, 2019).

Las principales características de la industria 4.0, son la digitalización, optimización, automatización, y la interacción entre el humano y las maquinas, así como el intercambio de datos. Esta cuarta revolución industrial agrupa las tecnologías clave definidas como tecnologías de la información big data, Internet of thing (Iot), machine learning, y físicas, tales como, mobile computing, cloud computing, Cyber physical systems, robotics, y redes de comunicación 5G(Lu, 2017). El autor Mora (et al, 2020), clasifica también como tecnologías de la cuarta revolución industrial el 5G, Internet of things, Big Data, computación en la nube, 3D printing, vehiculos no

autónomos y no tripulados, blockchain, virtual y augmented Reality, divididas en grandes grupos de tecnologías: Hiperconectividad, Gestión y Seguridad, Dispositivos y autonomía, Virtualización digital.

Por otra parte Ghobakhloo (2021) expresa que las tecnologías pertenecientes a la cuarta revolución industrial aparecen en el año 2011 y se definen por un alto grado de digitalización, automatización, virtualización y descentralización de todas las industrias existentes, siendo las tecnologías Core definidas como Internet of thing, Cyber-physical systems, cloud computing, industrial robotics, data analysis, augmented reality, digital twin technology, big data, simulation, additive manufacturing, cybersecurity, blockchain, entre otras. (Ghobakhloo et al., 2021). Para otros autores se puede definir grupos de tecnologías que se consideren de la cuarta revolución industrial, donde como se mencionó anteriormente; que aparecieran o se desarrollaron en la 2da década del siglo XXI y que mezclaran elementos de tecnologías físicas y digitales (Ghobakhloo, 2020) o de alguna forma hardware y software en las formas de producción. (Hernandez & Rivas, 2020).

Se encontró que al comparar las tecnologías claves señaladas en el gráfico No 1, y lo mencionado por los autores Ghobakhloo, 2020, Nimawat & Gidwani, 2021, Hernandez & Rivas, 2020, Lu, 2017, Kamaruzaman, Hamid, Mutalib, & Rasul, 2019 y Gooneratne et al., 2020, se encuentran similitudes entre el análisis bibliométrico evidenciadas en las siguientes tecnologías

1. Cloud computing
2. Data analytics and artificial intelligence
3. Internet of things
4. Cyber physical system
5. Robotics
6. Industrial sensors and controllers
7. Automated guided vehicles (agciv) (drones)

5.2. Tecnología de la cuarta revolución industrial en la gestión de los recursos naturales y la contaminación.

La gestión de recursos naturales se centra en los aspectos de conservación, monitoreo, y restauración de las matrices o componentes abióticos suelo, aire y agua, de esta manera a partir de la construcción de la *matriz de selección definitiva de artículos* (Anexo 3), se observan distintas aplicaciones de las tecnologías de la cuarta revolución industrial. Dentro de una selección de 99 artículos de la base de datos SCOPUS, Como se muestra a continuación, se encontraron distintas aplicaciones de las tecnologías, descritas anteriormente, en la gestión de los recursos naturales y el control de la contaminación.

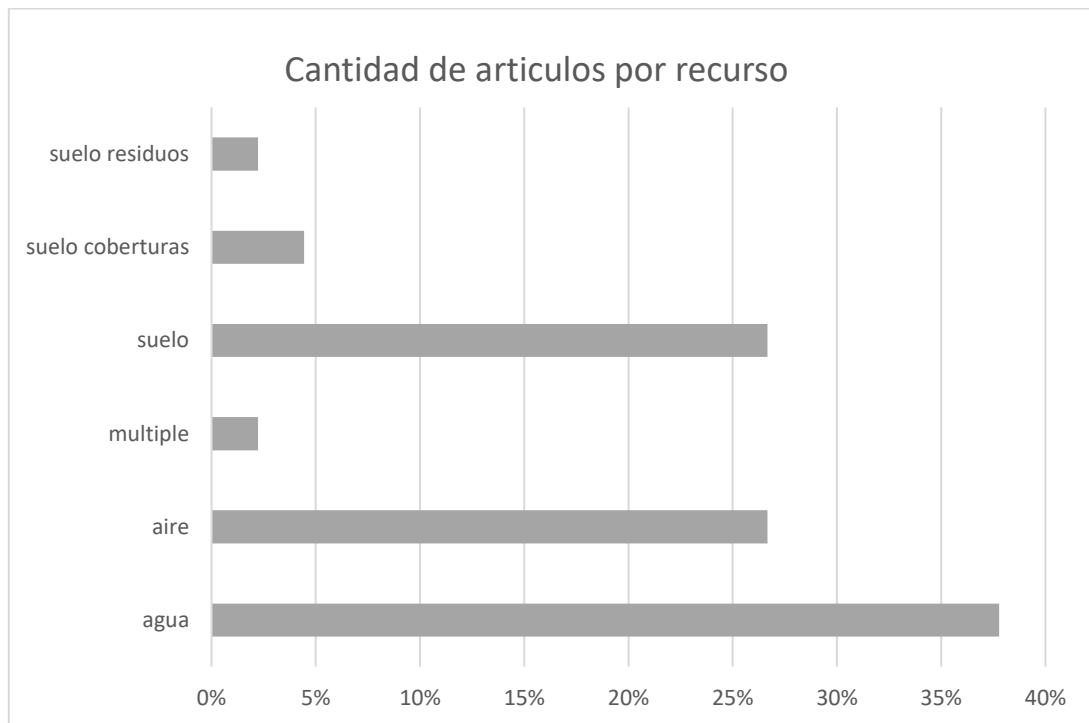


Grafico 3
 Porcentaje de artículos encontrados según aplicación a cada recurso, se resalta la aplicación principalmente de tecnología en el agua

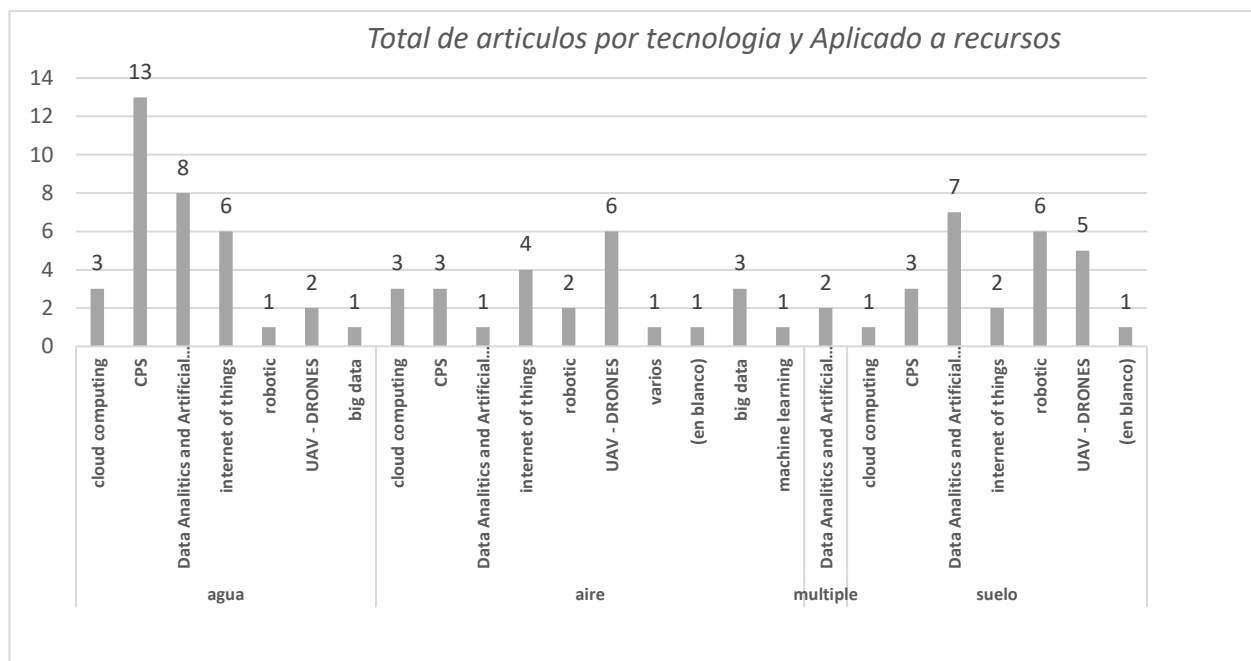


Grafico 4

Cantidad de artículos encontrados clasificados inicialmente por recurso (agua, aire y suelo) y según cada tecnología. Resalta los sistemas ciber físicos (CPS) en el agua, el uso de drones en el aire y el análisis de datos en le suelo

Al realizar el análisis de la bibliografía se encontró que el 37.7% de los artículos se refieren a aplicaciones relacionadas con la matriz agua, seguida por un 26.6% al suelo y al aire respectivamente, y un 4% de aplicación múltiple y residuos, un 5% de aplicaciones sobre las coberturas del suelo, (Grafico 3). Para cada recurso natural (suelo, agua y aire) se encuentra dentro del 40% de artículos correspondientes al porcentaje mencionado al inicio del párrafo, (aplicaciones en la matriz agua) resalta la tecnología Cyber Physical Systems, la cual combina tecnologías de la información con tecnologías de operación, es decir; tecnologías digitales con tecnologías físicas. (Yebeles Serrano & Zorrilla, 2021), en segundo lugar, en el 25.5% de artículos relacionados con el matriz aire se destaca la utilización de los drones, al igual que el análisis de datos en el matriz suelo (gráfico 4), además observamos que el análisis de datos y la inteligencia artificial también juegan un rol importante en el monitoreo y evaluación de los recursos naturales, esta resalta en los tres elementos estudiados.

A continuación se evidencian algunas aplicaciones de las tecnologías de la cuarta revolución industrial seleccionadas en el numeral 5.1, y que continenen o describen aplicaciones de estas tecnologías en la gestión de los recursos naturales o el control de la contaminación, de forma general corresponden a casos de aplicación de la tecnología, y se busca describir en forma general

en que consiste la tecnología, cuales son sus características, como se aplica en la gestión de los recursos naturales y el control de la contaminación, y algunos ejemplos, teniendo en cuenta que estas aplicaciones son sacadas de las búsquedas a partir de los términos clave, mencionados anteriormente

5.2.1. Cloud computing en la gestión de Recursos Naturales y la control de la contaminación

El Cloud computing (CC) se define como una plataforma de interacción digital que almacena, procesa y muestra la visualización de un gran número de datos (Big Data), de forma más económica y analítica en plataformas alojadas a nivel global (computación en la nube), como por ejemplo *Google Earth Engine (GEE)*, la cual permite una infraestructura para acceder y procesar una gran cantidad de datos de observación de la tierra actualizados regularmente, de forma sistemática y reproducible (Dervisoglu, 2021). La computación en la nube permite de esta manera procesar datos que de otra forma deben ser descargados y alojados en los computadores personales o servidores de los usuarios, las instituciones o investigadores.

El Cloud computing (CC) se caracteriza por brindar la infraestructura necesaria como el software, tecnologías informáticas y servicios a los clientes a través de una conexión de internet, evitando los problemas de la infraestructura local como la adquisición de servidores, interconexión de computadores, redes, configuración de la misma, estaciones de trabajo, router, personal de mantenimiento, entre otros (Alghofaili, Albattah, Alrajeh, Rassam, & Al-rimy, 2021). Lo anterior, facilita la interconexión de diferentes sistemas tecnológicos del tipo Ciber Físico en composición con un conjunto de datos (como se observará más adelante) de una forma más robusta abarcando y procesando una mayor cantidad de información que permite obtener resultados más acertados o con mejor resolución.(Stodt et al., 2021)

Al observar los resultados de la matriz Anexo No 3, matriz de selección de artículos, se identificaron estudios donde la principal aplicación es el monitoreo de recursos naturales y la contaminación, destacando el hecho de que el principal recurso estudiado es el agua y el aire, en los cuales se muestra el procesamiento de una gran cantidad de imágenes satelitales mediante la herramienta *Google Earth Engine Cloud* (Dervisoglu, 2021). Según lo presentado por Wang,

(2020), la herramienta puede realizar el procesamiento de 7534 imágenes del satélite LandSat utilizando el Índice diferencial del agua normalizado (mNDWI), el cual muestra el nivel de humedad que posee la vegetación, y se obtiene a partir de la combinación de bandas de color y infrarrojas de las imágenes satelitales. Esta aplicación se realizó en un área en la planicie Hetao (China), con el objetivo de estudiar los cambios a largo plazo en un periodo de 32 años desde 1989 a 2019. El trabajo mostró el impacto del cambio climático, la dinámica hídrica de la cuenca, las actividades humanas en la zona, el cambio en la superficie del agua a nivel regional a una escala de 30 m, utilizando la plataforma de Cloud Computing Google Earth Engine para el procesamiento de las 7534 imágenes, que de lo contrario debían ser descargadas y procesadas en la infraestructura local del investigador. (R. Wang et al., 2020)

Por otra parte, también se identificaron estudios en el ámbito del control de la contaminación, la aplicación más recurrente de tecnologías de la cuarta revolución industrial (4RI) es el uso de sensores conectados a través de internet (Arvaree & Perumal, 2021), (Bezic, Balaz, & Buljat, 2020), en los cuales se realiza el procesamiento de los datos a través del Cloud Computing (CC). En este ámbito destaca el hecho que el recurso más estudiado es el aire y su calidad, a través de sensores de bajo costo, interconectados en redes y que utilizan el procesamiento del CC para analizar los datos. Por ejemplo, se presenta el dispositivo denominado Raspberry PI ARM minicomputer, el cual consiste en una unidad sensora conectada a una board Arduino, y a su vez esta conectada a través de cable USB para la transmisión de los datos de la unidad sensora, con la finalidad de medir material particulado, Monóxido de Carbono, Dióxido de Carbono, Temperatura, humedad, presión, el cual es interconectado en nodos con otros sensores a través de internet y a través del CC se permite el procesamiento de los datos en tiempo real, mostrando que es posible la utilización de dispositivos de bajo costo y consumo de energía y realizar el monitoreo de contaminantes de manera exacta. (Balarengadurai, Akilandeswari, Raja, & Kalimuthu, 2021).

La aplicación del Cloud Computing en la gestión ambiental se enfocan principalmente en el procesamiento de datos provenientes de sensores de monitoreo de los recursos naturales (Arvaree & Perumal, 2021), (Balarengadurai et al., 2021), (Bezic et al., 2020), el procesamiento de una gran cantidad de imágenes que permita una mayor resolución temporal y mayor precisión al reducir la escala temporal/espacial. (Dervisoglu, 2021), (C. Liu et al., 2020) (González-Briones, Castellanos-Garzón, Mezquita Martín, Prieto, & Corchado, 2018), (Huntington et al., 2016)

5.2.2. Analítica de datos e inteligencia artificial en la gestión de recursos naturales

El big data, Data Analytics (analítica de datos) e inteligencia artificial, se refiere a una gran cantidad de datos, inicialmente sin relaciones fácilmente identificables, pero que a partir de técnicas y métodos de procesamiento se pueden realizar inferencias, predicciones, regresiones y modelos de un fenómeno. La analítica de datos a través del Internet de las cosas (IoT, en inglés), sensores y dispositivos puede ser usado para nuevos descubrimientos, para mejores y más rápidas decisiones basadas en datos que previamente se consideran inaccesibles o inútiles. (B. Wang, Farooque, Zhong, Zhang, & Liu, 2021)

El big data y la analítica de datos se caracterizan por un gran número de datos generados a partir de los dispositivos móviles, computadores, sensores y el uso de computación en la nube a través de la red global. Para tratar de especificar la big data se utiliza el concepto de 7V, volumen, velocidad, variedad, veracidad, variabilidad, visualización y valor. La velocidad y la variabilidad las características más importantes al momento de realizar análisis (Mach-Król & Hadasik, 2021).

Por su parte la inteligencia artificial nace a partir de la analítica de datos, en la cual se emulan mecanismos asistidos por la inteligencia humana, como el pensamiento, el aprendizaje profundo, adaptación, compromiso y comprensión sensorial, aplicado a una máquina, la cual a partir de la programación va aprendiendo de nuevas entradas y generando distintas salidas (Secinaro, Calandra, Secinaro, Muthurangu, & Biancone, 2021)

Dentro de las aplicaciones de estas tecnologías a la gestión de recursos naturales, se encuentra el monitoreo del recurso hídrico. (Fleming, Garen, Goodbody, McCarthy, & Landers, 2021), (Sit et al., 2020)(Sharafati, Asadollah, & Neshat, 2020), (Masciopinto, Vurro, Palmisano, & Liso, 2017), (Kayhomayoon, Arya Azar, Ghordoyee Milan, Kardan Moghaddam, & Berndtsson, 2021), (S. S. Ahmed, Bali, Khan, Mohamed, & Sharma, 2021), (M. Ahmed, Mumtaz, & Zaidi, 2021). La analítica de datos y la inteligencia artificial se han venido utilizando para la creación de bases de datos ambientales y de plataformas de intercambio de estos (Worthington et al., 2020), (Sit et al., 2020), (Amani et al., 2020), (Villa et al., 2014), (J. Zhang et al., 2021), (Nakamoto & Kobayashi, 2019), creación y aplicación de modelos predictivos; los cuales se realizan a partir de los datos recogidos del comportamiento de los recursos naturales en cuanto a su estado, uso y

potencial demanda (Erkinay Ozdemir, Ali, Subeshan, & Asmatulu, 2021), (Wong et al., 2021), (Sharafati et al., 2020), (Drohan et al., 2019), (Abbasi & El Hanandeh, 2016), (Fleming et al., 2021)(Kayhomayoon et al., 2021).

El análisis de datos principalmente se observa a través de aplicaciones de herramientas de software en combinación imágenes espaciales en algunos casos (Masciopinto et al., 2017; Sit et al., 2020)(Drohan et al., 2019)(Cheţan & Dornik, 2021) (Kasse, Xu, deVrieze, & Bai, 2019)(M. Ahmed et al., 2021) frameworks o marcos de trabajo para estudiar o aplicar metodologías de monitoreo de los recursos naturales, es decir el diseño metodológico que selecciona dentro de un conjunto de datos medidos en alguna matriz (agua, aire y suelo) y depurar cual son los mas relevantes (Kaginalkar, Kumar, Gargava, & Niyogi, 2021)(Wan & Yin, 2021).

Para el estudio de los contaminantes ambientales, se debe tener en cuenta que la adquisición de los datos, debe ser realizada a través de sensores o equipos especializados que realicen las observaciones en cada matriz y apartir de estos datos se realiza su procesamiento. Destaca que el estudio de la calidad del aire es la matriz donde mas se presentan aplicaciones de estas tecnologias. La aplicación del big data se realiza a través del análisis de los datos capturados en sensores, como se mencionó anteriormente, se graban grandes volúmenes de datos para su posterior procesamiento, lo que a su vez mejora los análisis y modelos predictivos. En este campo, encontramos aplicaciones que a partir de dichos volúmenes de datos realizan modelamiento de la contaminación y predicciones a partir de los datos recolectados, desarrollos de software especializados y framework aplicables a casos específicos, combinados con imágenes satelitales para la elaboración de pronósticos, monitoreo en tiempo real, mapas de contaminación y sistemas de alerta temprana. (P.-C. Chen & Lin, 2022; J. Zhang et al., 2021), (Kaginalkar et al., 2021), (Wan & Yin, 2021), (S. Wang, Lin, & Shu, 2021)

Los autores presentan algunas aplicaciones como, bases de datos de información forestal en bruto, en la cual presentan una revisión ade plataforma de datos de manglares existentes, presentando las principales características de estas, y otras iniciativas relacionadas con los manglares o proyectos relacionados (Worthington et al., 2020). Por otra parte, otra aplicación del análisis de datos a la modelación a permitido realizar una aplicación en 8 ríos del oeste de USA, en el año 2020, a través de la aplicación del modelo M4 Multi-model machine-learning

Metasystem, que pronostica la oferta hídrica de la zona a partir de datos estadísticos de las estaciones y permite hacer predicciones a escala regional, además fue comparado con otros sistemas de pronósticos basados en los datos de la capa de nieve de las montañas, mostrando que modelo supero los modelos antiguamente utilizados, que a través de la pre calibración de parámetros, la ciencia de datos, y el machine learning el sistema es capaz de operar en automático y ser utilizado para la toma de decisiones ambientales a partir de datos meteorológicos, hidrológicos y atmosféricos de las cuencas de los ríos estudiados (Fleming et al., 2021)

5.2.3. Internet de las cosas (IoT, Internet of thing en ingles) en la gestión de recursos naturales y control de la contaminación

Como se ha venido observando, con el rápido avance de la tecnología de las comunicaciones y la electrónica, muchos dispositivos se han podido conectar a redes de comunicación sin la necesidad del uso de cables intermedios, a través de señales electromagnéticas (Wifi, bluetooth, etc). El internet de las cosas (IoT, en inglés) corresponde con una red de cosas interconectadas entre sí, o como un “ecosistema” compuesto de objetos, conectividad, aplicaciones y servicios (Hamid, Masrom, & Mazlan, 2022). El Iot Se presenta como una serie de componentes físicos dispersos en diferentes capas, denominados sensor, receptor y cloud o nube, los cuales se traducen en distintas capacidades de computo, memoria, y necesidades de energía (Berger et al., 2022)

Principalmente se observa que el IoT posee campo de aplicación en el monitoreo en redes de acueducto y cuerpos de agua a través de sensores interconectados entre sí y a la internet para la transmisión de datos (Trevathan, Schmidtke, Read, Sharp, & Sattar, 2021). También se evidencias estudios donde se utiliza el IoT para monitoreo de pendientes y taludes a través de sensores estáticos y dinámicos (que se mueven con el desplazamiento de las rocas) y conectados a la nube a través de internet (Dini et al., 2021) (Trevathan et al., 2021).

Con sensores conectados a internet se miden los datos de calidad del aire mediante micro sensores de bajo costo combinados con machine learning, un mayor numero de estos sensores en red, mejora la detección, el área abarcada, y la construcción de modelos de contaminantes, con envío de datos través de conexión Wifi o redes inalámbricas, a centrales de procesamiento de los

datos ampliando la cobertura de las redes, disminuyendo costos asociados y el consumo de energía (Yang et al., 2021)(Chang, 2021)(Nguyen & Luu, 2020)

También se identifican aplicaciones para el monitoreo de contaminantes en el agua y así como se mencionó antes, la adquisición de datos se realiza a través de sensores micro y controladores, conectados en red entre sí y a la internet, donde se estudian diversos contaminantes como son la detección de iones de metales pesados (Pan et al., 2021) y parámetros físico-químicos del agua (Pérez, Farfan, & Gerlein, 2021)(Loeffler et al., 2021).

Se presentan aplicaciones en la gestión ambiental como por ejemplo, en la cuenca Bhothe Koshi, noreste de Kathmandu, Nepal, se realiza el monitoreo del deslizamiento de rocas en tiempo real en diferentes ambientes geomorfológicos con el objetivo de lograr capturar el movimiento de las rocas en tiempo real, así como reactivación de los deslizamientos, y las actividades a distintos niveles en los sectores. Para esto se utilizó 23 equipos inalámbricos equipados con GPS y acelerómetros, y transmisión de datos a través de GSM, y nodos conectados un sistema de internet de las cosas, los resultados del estudio mostraron que los sensores se comportan y se mueven con el desplazamiento de las áreas estudiadas de forma natural, siguiendo el movimiento natural de las rocas, y a partir del estudio de los datos determinar zonas de deslizamientos activas, variaciones angulares y graduales, y venidas torrenciales. (Dini et al., 2021).

5.2.4. Cyber-Physical Systems (CPS) y Sensoring en la gestión de recursos naturales y control de la contaminación

Los sistemas Ciber-Físicos constituyen un gran avance en la implementación de distintas tecnologías de la cuarta revolución industrial. De esta forma un Sistema Ciber Físico se forma a partir de la unión de componentes de un sistema físico y componentes cibernéticos, para lograr una amplia interconexión y una gran cantidad de nodos distribuidos geográficamente, los cuales permiten el intercambio de datos. Tiene características como el bajo costo de instalación, así como alta confiabilidad, flexibilidad, modularidad, eficiencia mejorada y mayor autonomía a través de la coordinación de componentes físicos y cibernéticos (J. Chen & Shi, 2021).

Los sistemas Ciber-físicos tienen su principal aplicación en el monitoreo de sistemas de distribución, almacenamiento y tratamiento del agua(Adedeji & Hamam, 2020) (Framework, Sun,

& Puig, 2020) (Pandey, Farulla, Indaco, Iovino, & Prinetto, 2019), (Abhishek & Shet, 2019), (Bhardwaj, Gupta, & Gupta, 2018), (Bhardwaj et al., 2018), (Saetta et al., 2019) y predicción de la calidad del agua (Sheng, Zhou, Li, Pan, & Liu, 2020). Los sistemas ciber-físicos en este tipo de aplicaciones se muestran como la combinación de sensores que captan la información de los fenómenos medidos (por ejemplo volumen, pH, temperatura, concentración, etc) y estos mismos a través del internet envían los datos a centrales de procesamiento de la información, con la ventaja de otorgar resultados en tiempo real. Algunos autores consideran estos sistemas como de seguridad crítica y con cierto grado de vulnerabilidad a ciber ataques (Nikolopoulos et al., 2020), por lo que se proponen también sistemas de seguridad aplicado a los sistemas de acueductos.

A través de la integración de imágenes satelitales y drones se propone el monitoreo de propiedades del suelo como el fósforo e índice de vegetación (Drohan et al., 2019), (Udotalapally, Mohanty, Pallagani, & Khandelwal, 2021), (Horstrand et al., 2019). Por su parte, las matrices de aire se presentan para el monitoreo de contaminantes y de la calidad del mismo, a través del desarrollo de dispositivos mucho más económicos y adaptables, como conexión Bluetooth, microcontroladores instalables a vehículos para una mayor distribución de sensores (Marques et al., 2020), (Saini, Dutta, & Marques, 2020), (Dan Moiş, Sanislav, Folea, & Zeadally, 2018) .

Una de las aplicaciones de los CPS son sistemas de monitoreo de calidad del aire en tiempo real para la recopilación de datos y software de consulta de los mismos, con el objetivo de realizar monitoreo de la calidad del aire, y aplicar tecnologías de computación móvil, dentro de los resultados del estudio se muestra que el dispositivo permite medir y mapear los niveles de calidad del aire considerando además la información espacial y temporal, además de un método de bajo costo para el monitoreo de la calidad del aire integrando una aplicación móvil, que permite ser incorporado dentro de un vehículo para realizar el monitoreo. Como observamos esta tecnología permite la realización de monitoreo de calidad del aire a un bajo costo y en tiempo real, ya que el procesamiento de los datos se realiza inmediatamente (Marques et al., 2020)

Con el uso de drones se propone una plataforma de vuelo de drones para el procesamiento de las imágenes a bordo para la evaluación de índices de vegetación (NDVI) en el monitoreo del suelo (Horstrand et al., 2019). Además, otro sistema de monitoreo presentado por Bhardwaj, J., Gupta, K.K., Gupta, R. (2021) el cual está compuesto por distintos sensores y actuadores

incorporados a un sistema de computación que permite el modelado en tiempo real de los parámetros de calidad del agua y los datos recibidos por el sistema.

5.2.5. Robótica en la gestión de recursos naturales y control de la contaminación

La robótica se define como máquinas virtuales o físicas capaces de realizar actividades productivas con algún grado de autonomía, tienen una amplia aplicación en la industria manufacturera, y con el avance tecnológico, el uso de algoritmos de control y sensores ha permitido una mayor flexibilidad en sus tareas y autonomía. Los mismos se encuentran altamente relacionados con la automatización y mecanización de la industria en general, ambos; se refieren al reemplazo de labores humanas por máquinas. (E. Fernández-Macías, D. Klenert and J.-I. Antón) Algunos tipos de robots definidos por (E. Fernández-Macías, D. Klenert and J.-I. Antón) se corresponden a robots de operación y manipulación, que involucra mover cosas de un lado al otro con precisión; soldadura, que consiste en la unión de uno o varios componentes utilizando calor, ensamble y desensamble de partes en productos complejos. (E. Fernández-Macías, D. Klenert and J.-I. Antón)

Al analizar la matriz de selección definitiva se encontraron artículos que muestran que la principal aplicación de la robótica está enfocada al estudio del suelo, con textos relacionados al monitoreo del mismo, que describen los parámetros como la humedad, concentración de nutrientes y erosionabilidad, luego, a partir de estos parámetros elaborar mapas de parámetros (Pulido Fentanes et al., 2020) (Takara et al., 2021) (Almeida, Lima, & Almeida, 2021) (Bao, Seol, & Kim, 2021) (Inoue, 2020) (Qian, Lee, Nikolich, Koditschek, & Jerolmack, 2019). Consiguientemente se encuentra la matriz aire con aplicaciones enfocadas hacia el monitoreo de contaminantes como material particulado y contaminantes criterio (CO, NO_x, SO_x, etc) (Kim, Jung, Choi, & Ahn, 2019), a través de sensores ópticos y muestreadores de masa de aerosoles (Wendt et al., 2021) (Huang et al., 2021), y finalmente el agua con aplicaciones un velero autónomo, capaz de adquirir datos brutos relativos a la calidad del agua, para procesarlos y ponerlos a disposición de forma autónoma (Da Silva Junior et al., 2016).

Algunas aplicaciones observadas muestran, por ejemplo, un robot móvil autónomo equipado con un sensor de humedad del suelo sin contacto de última generación que construye mapas de

humedad sobre la marcha y selecciona automáticamente las ubicaciones de muestreo óptimas, proado en los campos de aviación del este de Kirkby, Reino Unido. El artículo además muestra que el robot es capaz de establecer el muestreo dependiendo del tipo de suelo estudiado, y que puede ser utilizado para mapear otras características del suelo como la compactación y composición química. Lo anterior muestra la automatización de procesos que se realizaban de forma manual, y que con el uso de estadísticas se puede mejorar la precisión de los datos recolectados y el estudio de los recursos naturales (Pulido Fentanes et al., 2020).

Frente al control de la contaminación se encontraron artículos enfocados principalmente en el estudio del aire, utilizando para esto la red robótica de aerosoles (Aeronet), la cual consiste en fotómetros solares que miden las propiedades de los aerosoles atmosféricos, y su integración con dispositivos de bajo costo para la toma de muestras de contaminantes aéreos como el material particulado, para realizar una variación a largo plazo de la carga de aerosoles, las frecuencias de los mismos, y los tipos dominantes en la atmósfera (Huang et al., 2021)(Wendt et al., 2021). Otra de las aplicaciones es un velero autónomo, capaz de adquirir datos brutos relativos a la calidad del agua, para procesarlos y ponerlos a disposición de las personas que pudieran estar interesadas. Las principales aportaciones son la propia arquitectura de sensores, que utiliza sensores de bajo costo. (Da Silva Junior et al., 2016).

5.2.6. Vehículos guiados automáticamente en la gestión de recursos naturales y el control de la contaminación

Los vehículos guiados automáticamente o sin pilotaje humano, también son conocidos como drones, sistema de aeronave conducida remotamente, vehículos guiados automáticamente o vehículo aéreo no tripulado (UAV, por sus siglas en inglés) es una máquina aérea conducida sin un piloto humano dentro de la misma. Las características de los vehículos no tripulados o drones y el desarrollo de estos como una excelente herramienta para la adquisición de datos, al ser equipados con cualquier clase de sensores. (Asadzadeh, Oliveira, & Souza Filho, 2021)

Los drones son vehículos los cuales son conducidos de forma autónoma usando sensores a bordo de la aeronave y un sistema de control, o de forma remota por un operador en una estación de control. Los mismos pueden ser clasificados según el ambiente donde operan: Vehículos aéreo

no tripulados (UAV, siglas en ingles), vehículos terrestres no tripulados (USV, siglas en ingles), vehículos submarinos no tripulados (UUV, siglas en ingles), vehículos de superficie no tripulados (UGV, siglas en ingles), vehículos espaciales no tripulados (US, siglas en inglés) (Nooralishahi et al., 2021)

Dentro de los usos reconocidos de los drones encontramos que las aplicaciones de UAV se basan principalmente en el monitoreo de bajo impacto (non-disturbing monitoring, en inglés), combinado con imágenes satelitales y para el mapeo (en 3D, inclusive) de especies silvestres, vegetación, agua, aire, suelo y el paisaje (Seier et al., 2021). Otras características de los UAVs, es la capacidad de ser equipados con sensores que son capaces de capturar datos e imágenes a color, RGB, Hiperespectral, multispectral, espectrales, termales y atributos geométricos de los objetos estudiados con los drones (C. Zhang, Valente, Kooistra, Guo, & Wang, 2021)

Dentro del análisis realizado en la gestión de recursos naturales y la contaminación, se encontró que las matrices más estudiadas son el aire y el suelo, y después el agua. Los artículos revisados muestran que para el suelo la principal aplicación es el establecimiento de áreas de protección (T. Liu et al., 2021), el monitoreo de coberturas, estado de la vegetación y características físicas del suelo (Berie & Burud, 2018)(Lewis et al., 2021)(Sajedi-Hosseini et al., 2018), frente a la contaminación del suelo se observan aplicaciones relacionadas con el uso de imágenes captadas a través de drones y el machine learning para realizar mapas de contaminación del suelo debido al uso de agroquímicos, radiación, contaminación por relaves mineros y erosión (Jia et al., 2021)(Peña-Ortega et al., 2019)(Briechle, Molitor, Krzystek, & Vosselman, 2020), además la generación de modelos de elevación del terreno digitales, incluyendo densidad de la vegetación, altura, especies (Briechle et al., 2020).

Las aplicaciones relacionadas con la matriz aire se encuentran enfocadas hacia el estudio de la contaminación, principalmente las aplicaciones mezclan el monitoreo de contaminantes criterios y parámetros climáticos (temperatura, humedad, presión, entre otros). De esta manera encontramos que el uso está enfocado hacia la caracterización de las concentraciones de contaminantes a través de columnas verticales estableciendo patrones de distribución de la contaminación utilizandolos para realizar dicho monitoreo (Wu et al., 2021) (X. Liu, Shi, He, Li, & Peng, 2021), una segunda aplicación de los UAVs en el monitoreo del aire se enfoca hacia el acceso a zonas difíciles (zonas

con contaminación por radiación, o de topografía muy difícil, por ejemplo), y la creación de redes de monitoreo del aire en estas zonas, conectadas a centros de control y recepción de datos (Sprincean, Paladi, Bulimaga, & Paladi, 2020)(Chhikara, Tekchandani, Kumar, & Member, 2021) y evaluaciones de la contaminación en zonas de riesgo o como producto de una emergencia (incendios, explosiones, contaminación química, etc)(Rabajczyk, Zboina, Zielecka, & Fellner, 2020), finalmente para la aplicación en sistemas de modelación del aire, apoyado por imágenes satelitales y sensores. (Sprincean et al., 2020)

Para la matriz agua se encontraron pocas aplicaciones, dentro de la cual destaca el uso de Botes autónomos o UGV, los cuales se utilizan principalmente para la realización de trabajos de toma de muestras en los cuerpos hídricos de forma automática, tal como se muestra para realizar el muestreo y el cribado de agua en algún sitio, particularmente en sitios peligrosos o de difícil acceso, se desarrolló un dron equipado con un muestreado de micro extracción en fase sólida de película delgada y balance hidrófilo-lipófilo, el cual se utiliza para captar muestras en zonas de difícil acceso o agua con vapores tóxicos, mostrando una disminución de los costos de los muestreos, además de poder determinar la calidad del agua en tiempo real(Grandy, Galpin, Singh, & Pawliszyn, 2020).

Alguno de los artículos estudiados muestran la aplicación de los drones en la gestión de los recursos naturales, como es el caso de la elaboración del perfil vertical de carbono negro y ozono utilizando un multicoptero no tripulado (UAV), en el año 2021, en el área urbana de Shenzhen del sur, China, con el objetivo de investigar la evolución y comportamiento vertical del carbono negro y el ozono durante el día, además de los factores que afectan el comportamiento de estos, utilizando para esto dispositivos UAVs en el área urbana. Como resultado de este estudio se muestra que, a través de 74 vuelos en invierno y verano en la ciudad, la confiabilidad de los dispositivos UAVs en el monitoreo de estos dos contaminantes es comparable con las medidas a través de unidades estacionarias, mostro la variabilidad de las concentraciones de carbono negro y ozono en la vertical, así como los factores que afectan dichas concentraciones (temperatura, presión, humedad, altura, etc.). (Wu et al., 2021)

5.2.7. Aplicaciones tecnológicas en Colombia

En Colombia algunas de las aplicaciones encontradas en la revisión de bibliografía muestran los siguientes hallazgos, dentro de la matriz aire se propone un prototipo IoT para el monitoreo de la contaminación atmosférica en la ciudad de Bucaramanga (Santander), en el año 2018, utilizando para esto sensores sensibles a CO₂ y a través de conexión Wi Fi el envío de los datos a un servidor donde son alojados y publicados en línea en una aplicación Android. Como resultado de esto se obtuvo que el sensor permite monitorear la calidad del aire, a un bajo costo, con poco consumo energético y una recolección de datos cada 5 segundos. (Ortiz & Torres, 2018)

En la ciudad de Envigado en el año 2018, se presentó el desarrollo de un prototipo de un dispositivo portátil, acoplable a una bicicleta, que mide variables climatológicas y parámetros de distancia que serán procesados en la nube para visualizarse en un dispositivo móvil. Dentro de los resultados obtenidos por el sensor al realizar los recorridos en bicicleta, y posteriormente ser comparados con el SIATA (Sistema de alerta temprana de Medellín y el Valle de Aburra), arroja que es posible coincidir los datos del dispositivo con los datos de la red de monitoreo oficial del municipio. Por otra parte, los sensores se ven afectados en su calibración debido a variables climáticas como la temperatura o presión del sitio donde se realiza las pruebas, finalmente el dispositivo al ser escalable en el número de dispositivos funcionando a la vez (masividad) permite realizar mediciones a una escala mucho más pequeña que la red convencional. (Rodríguez & Montoya, 2018)

Otro ejemplo de aplicación de desarrollos tecnológicos aplicados al monitoreo de contaminación ambiental, es el diseño de un sistema para la medición de gases de efecto invernadero (bien sea Dióxido de Carbono y Metano), en el año 2018, en la Ciudad de Bogotá, mediante los principios del internet de las cosas, incorporando tecnología con sensores de alta precisión, con dispositivos de censo de gases CO₂ y CH₄, los cuales se comunican a una centralita a través de conexión de internet (LoRaWAN, que es un tipo de red de bajo consumo energético, alta cobertura, y trabajo en frecuencias de uso libre), mostrando como resultados el bajo costo del monitoreo, la incorporación de sensores con un rango amplio de área y precisión, y la implementación de servicios web para el análisis y visualización de los datos captados por la red. (Villate Barrera, 2018).

En el año 2019 se realizó la optimización de un dron en la ciudad de Monteria, acoplado con sensores que facilitan la cuantificación de la dosis de radiación que reciben la vegetación en un cultivo, expuesto al sol u otras fuentes de radiación natural. El dron consiste en una adaptación de un kit de software de desarrollo que con la aplicación de un algoritmo para navegación autónoma, detección, evasión de obstáculos, y autonomía de vuelo en caso de pérdida de comunicación con el dron (Chao, Gu, & Napolitano, 2013), haciendo uso de la tecnología Detección de Luz y Rango (LIDAR), el dron puede capturar información de dosimetría ambiental de radiación a partir de las tecnologías ya mencionadas. Dentro de los resultados encontrados se observa que nuevamente resalta el hecho del bajo coste de aplicación de este tipo de tecnologías, la aplicabilidad en determinar la radiación absorbida por las coberturas al igual que la tasa de exposición de la vegetación a la radiación. Lo anterior muestra la adaptabilidad de las nuevas tecnologías a la captura de información proveniente del medio natural. (Luis, López, Antonio, & Ortega, 2019)

Otra aplicación desarrollada en Colombia en el año 2020, es el Sistema Móvil De Monitoreo De Gases En El Ambiente (SIMA), que realiza seguimiento a los gases y condiciones medioambientales a través de un sistema tipo nodriza, en el cual se usan robot controlados remotamente y que poseen sensores para la adquisición y transmisión de datos de forma inalámbrica en tiempo real. Con este trabajo se buscó diseñar a nivel mecánico, electrónico y de control el robot móvil para realizar el monitoreo ambiental, pero, por otra parte según los resultados obtenidos, los mismos autores expresan la dificultad en la validación y calibración de los sensores utilizados en el diseño del Robot, debido a que no existe una metodología aplicable para realizar dicho proceso, por otra parte, se observa la aplicabilidad del robot en el monitoreo de contaminantes como metano, Monóxido de carbono, entre otros. (Duque, Puentes, Duque, & Rodríguez, 2020)

En el sector publico encontramos en el portal web, del Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible (consultado noviembre de 2020), donde se menciona que algunas de las aplicaciones que mezclan el uso de datos con la tecnología móvil son las siguientes:

- **APP de Covima:** Es una aplicación que con métodos de innovación como es el Maching Learnig, permite la consulta interactiva del catálogo de especies maderables para Colombia y facilita la realización de cálculos de cubicación de madera. La aplicación posee las

siguientes funcionalidades: 1) Controlar y verificar las especies forestales maderables provenientes del bosque natural que se comercializan. 2) Cubicar árboles en pie, los volúmenes de madera en el transporte y verificar los inventarios en las empresas forestales. 3) Acceder directamente a SUNL-VITAL para verificar los salvoconductos que autorizan el transporte de la biodiversidad en el país

- **SIPGACAR (Sistema de información para la Planeación y la Gestión Ambiental):** Esta herramienta facilita la evaluación en el cumplimiento de los Planes de Acción de las Corporaciones Autónoma.
- **VITAL 2.0 (Ventanilla Integral de trámites Ambientales):** Es una solución tecnológica centralizada y en línea, que permite facilitar el acceso a la información y la gestión digital de los trámites administrativos ambientales.
- **Negocios Verdes:** Es una aplicación que permite conectar a los productores de iniciativas ambientales con los compradores, haciendo uso de un e-commerce - Market place, entre otros.
- **RUA RETC Registro Único Ambiental y sus salidas en Registro de Emisiones y Transferencias Contaminantes:** Es un aplicativo desarrollado para que las empresas y sus establecimientos registren los permisos y acciones asociadas al componente ambiental de emisiones y contaminantes.
- **RENARE:** Es una plataforma web que registra la información de los proyectos de reducción de gases efecto invernadero y los resultados logrados por estas iniciativas
- **Contador de árboles:** Consolida la información de siembra de árboles por parte de actores públicos o privados o ciudadanía en general. Permite identificar las diferentes iniciativas de restauración y siembra de árboles.

5.3. Implicaciones de los desarrollos tecnológicos de la cuarta revolución industrial, a la gestión de recursos naturales y control de la contaminación en el contexto colombiano.

El diseño y aplicación de nuevos desarrollos tecnológicos de la cuarta revolución industrial, ha permitido innovar las formas de recolectar, procesar, analizar y generar datos que permitan la generación y entendimiento de una mayor cantidad de información pertenecientes a la naturaleza de los recursos naturales, de esta forma observamos 3 grandes grupos al establecer relaciones entre las tecnologías, como son: El grupo de captación y procesamiento de datos, que a criterio propio agrupa las tecnologías de cloud Computing, data analiticas, Internet of things, sistemas ciber físicos. Un segundo grupo corresponde a la automatización de procesos a través de la robótica y un tercer grupo pertenece a los vehículos con múltiples capacidades de acceso como son los vehículos guiados automáticamente.

5.3.1. Validación de las tecnologías

Actualmente la Environmental Protection agency (EPA) posee una caja de herramientas de sensores de aire en las cuales se incluye una categoría de sensores de bajo costo (low-cost sensors), en el sitio web de la misma. Se observa que la EPA posee un amplio estudio sobre los sensores de bajo costo, los cuales define como emerging air quality sensors (sensores emergentes de calidad del aire), los cuales se consideran en términos generales más compactos, de medición directa de los contaminantes, y de bajo costos de operación comparados con los tradicionales (entre \$100 a \$2500 USD).

la agencia realiza la evaluación de cada uno de los sensores considerados de bajo costo, aunque actualmente no se consideran como métodos validados para la captura de datos de información de calidad del aire, si se permite el uso no regulatorio, tales como, educativo, monitor de exposición personal, complementarios a los métodos de monitoreo validados, identificación de fuentes de contaminación, educativo, y conocimiento general (Williams et al., 2014).. Además se encontró información sobre sensores de bajo costo para el monitoreo en tiempo real del agua, y

para el caso del suelo no se encontró información relacionada. (Environmental Protection agency (EPA), 2020)

A continuación, se muestra una tabla que agrupa los sensores de bajo costos evaluado por la EPA y algunos de sus parámetros:

Contaminante	Nombre del sensor	Tecnología del sensor	Rango	exactitud	Precision	limites ambientales	Peso (kg)	Tiempo de respuesta (s)	Precio
CO	Langan DataBear, 1 T15d	Electrochemical Cell	2-200 ppm	0.5 ppm	0.5 ppm	23 to 40 oC	0.43	≥ 1	1.5K
CO	Aeroqual Series 500	Metal Oxide Semiconductor (MOS)	2-100 ppm	<+/- 2 from 0-20 ppm y <+/- 10% 20-100 ppm	0.1 ppm	0-40 oC, 5 to 95% RH	< 0.46	< 150	1.5K
NO2	Aeroqual Series 500	MOS	0.01-200 ppm	<+/- 0,01 from 0-0,1 ppm y <+/- 10% 0,1-0,2 ppm	1 ppb	0 to 40 °C, 30 to 70% RH	< 0.46	< 180	2K
O3	2B Technologies, 202; FEM EQOA-0410-190	UV absorption	1.5 ppb to 250 ppm	1.5 ppb or 2%	0.1 ppb	0 to 50 °C	0.70	10	5K
O3	Aeroqual Series 500L	MOS	8-500 ppb	8 ppb	1 ppb	-5 to 50 oC, 5 to 95% RH	< 0.46	< 60	2K
O3	OMC-1108	Electrochemical Cell	0.01 to 10 ppm	±10%	10 ppb	0 to 40 oC, 0 to 80% RH	0.5	< 70	1.2K

Tabla 2

Sensores evaluados por la EPA, y algunas características de los mismos, en los cuales se establece el nombre, la tecnología en la que se basa el sensor, el rango de detección del contaminante estudiado, la exactitud, precisión y límites

Fuente: tomado de Air sensor Guidebook de la Environmental Protection Agency (Williams et al., 2014)

Como se observa en la Tabla No 2, La agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (EPA), actualmente viene realizando la evaluación de los métodos y sensores para establecer las características principales de algunos sensores de calidad del aire que se fabrican actualmente. La tabla No 2 muestra que los sensores poseen distintas características, como el uso de distintos tipos de tecnología, y selectividad por el contaminante criterio medido, los rangos y exactitud varían de acuerdo al tipo de tecnología, y otras características. Como resultado de la evaluación se pueden establecer características que muestren la confiabilidad de la información y datos recogidos por los sensores. Aunque estos sensores no se consideran como métodos validados para la captura de información de calidad del aire, posiblemente en un futuro lo puedan ser, por el momento los sensores pueden ser utilizado como complemento a los sistemas de monitoreo actuales (Williams et al., 2014).

5.3.2. Normatividad nacional y reconocimiento de la tecnología en Colombia

El marco jurídico ambiental en Colombia se inicia con la Constitución Política De Colombia de 1991, que expresa la obligación del Estado y las personas proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación, establece la función ecológica de la propiedad, el derecho a un ambiente sano, proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica, planificar el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, su conservación, restauración o sustitución, así como, intervenir en el aprovechamiento de los recursos naturales y los usos del suelo. Además, el decreto ley 2811 de 1974 – Código de Recursos Naturales- establece los fundamentos normativos para prevenir y controlar la contaminación del aire, el agua y el suelo, la ley 99 de 1993 la cual crea el MADS y algunas de las CAR existentes, y establece el SINA.

Posteriormente el Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible ha emitido normatividad relacionada con la forma como se deben monitorear y gestionar los recursos naturales, recogidos principalmente en el Decreto 1076 de 2015, el cual compila por temáticas la normatividad existente en la materia. Se debe tener en cuenta que para realizar el monitoreo de matrices como el Agua, el aire y el suelo, el Instituto De Estudios Ambientales –IDEAM- ha desarrollado diversos protocolos donde se establecen las formas como se debe monitorizar los contaminantes y el estado de los recursos ya mencionados.

Dentro de los protocolos mencionados existe el Protocolo para el monitoreo del agua (IDEAM, INVEMAR 2017) el cual trata de una guía para el monitoreo del recurso hídrico, en este, se mencionan distintas técnicas y procedimiento pertenecientes a una estación de monitoreo convencional (pluviómetros, pluviografos, medición de niveles y caudales y caracterización físicoquímica), pero no se establece cabida para el establecimiento de nuevos sensores o tecnologías que cumplan las mismas funciones.

En el Protocolo Para El Monitoreo Y Seguimiento De La Calidad Del Aire (IDEAM, 2008) se detalla ampliamente los equipos de monitoreo para la calidad del aire, destacando tres grandes grupos, como son los Sistemas de vigilancia de calidad del aire-SVCA- manuales, automáticos e híbridos; estos mismos consisten en grandes equipos de arquitectura compleja, definidos específicamente en el protocolo, y que deben cumplir con características de recolección de muestras y procesamiento de las mismas(teniendo en cuenta variables como presión, temperatura, altura sobre el nivel del mar, tipo de contaminante, entre otros), al igual que en el anterior no se deja abierta posibilidad a nuevas tecnologías o equipos, debido a que el protocolo define específicamente que unidades y métodos deben ser utilizada para medir cada contaminante criterio, de esta forma no se permite por ejemplo el uso de drones o nuevos sensores de medición de calidad del aire. Aunque no se realiza de manera expresa la prohibición de nuevas tecnologías, los métodos y equipos si deben ser acreditados por el IDEAM, al igual que los laboratorios de procesamiento de muestras según 125 requisitos estipulados en la norma NTC17025:2005. (IDEAM, 2020)

Para el monitoreo ambiental del suelo el IDEAM ha diseñado 3 protocolos para determinar tres procesos del mismo, a través de los Protocolos De Degradación De Suelos Y Tierras: Erosión (IDEAM, 2015) Salinidad (IDEAM, 2017) Y Desertificación (IDEAM, 2018) que son problemáticas que afectan los suelos del país. En estos protocolos se tratan de unos métodos validados para determinar el grado de afectación por cada una de estas problemáticas, donde se mezcla información cartográfica, criterios de identificación y clasificación de la erosión, la salinidad y la desertificación, fases de campo con tomas de muestras, análisis de suelos, caracterización de las zonas y actividades sociales, diseños de indicadores, y elaboración de mapas de las problemáticas del suelo. Se observa entonces que el protocolo de monitoreo de suelos tiene un mayor grado de apertura a la introducción de nuevas tecnologías debido a que no se definen de forma específicas técnicas o tecnologías a utilizar para realizar el monitoreo, y los mismos

protocolos prevén el uso de tecnologías de la cuarta revolución industrial como lo es las imágenes satelitales, finalmente estas pueden ser combinadas con otras tecnologías de recolección y procesamiento de datos para realizar un mejor monitoreo.

Algunos autores (Duque et al., 2020)(Luis et al., 2019)(Rodríguez & Montoya, 2018) concluyen dentro de sus artículos, que el vacío normativo y la falta de directrices de aplicación de esta tecnología a nivel nacional, impide la utilización de las tecnologías de la cuarta revolución industrial como son cloud Computing, data analiticas, Internet of things, sistemas ciber físicos, robótica y vehículos guiados automáticamente, entre otras, puedan ser aplicadas a nivel nacional como métodos válidos para la medición de contaminantes.

Como se observa el vacío normativo para la validación y entrada en vigencia de nuevas tecnologías en el campo de la gestión ambiental es amplio, se necesita una modificación a las leyes nacionales de Colombia, así como la validación de los nuevos métodos y técnicas generadas por estas tecnologías (inicialmente por la EPA) para que posteriormente estas puedan ser utilizadas dentro del territorio nacional, como apoyo a los sistemas de monitoreo actuales o como sistemas en sí mismas. Algunas iniciativas normativas como la de la Unidad Administrativa especial de Aeronáutica Civil en Colombia, a través del Reglamento aeronáutico civil RAC 91, acogido mediante Resolución N° 01594 del 07 de junio de 2018, que establece un reglamento para la operación de Drones en el espacio aéreo nacional, exige el cumplimiento de requisitos como formación, alturas de vuelo, características de la aeronave, entre otras, son muestras de que se debe empezar a regular más sobre esta nuevas tecnologías.

5.3.3. Costos de implementación

Frente a los costos de la implementación de este tipo de tecnologías se observa que en términos generales los sensores, aplicaciones de drones, robótica y sistemas ciber físicos, son consideradas soluciones de bajo costo como concluyen algunos autores estudiados anteriormente. Dentro de las consideraciones de los autores consideran que en las empresas las implementaciones de innovaciones como la robótica, la inteligencia artificial, el internet de las cosas y la impresión 3D puede convenir con una sustancial reducción de costos de fabricación (Rymarczyk, 2021).

Lo anterior muestra que las tecnologías de la cuarta revolución industrial podrían aligerar los costos de mantenimiento e implementación de redes de monitoreo de recursos naturales y contaminación. Los drones muestran una reducción del 83% de costos de entrega, debido a que estos pueden recorrer grandes distancias debido a su autonomía, facilidad de movilización, adaptación de sensores, evitando costos asociados a vehículos, combustible, mantenimiento, seguros, entre otros (Dumanska et al., 2021), esto al ser trasladado a la gestión ambiental se traduce en la optimización del tiempo de traslado de equipos, personal y maquinaria, la cobertura de grandes áreas de estudio y la recolección de datos mas ampliamente.

Por su parte el Cloud Computing se muestra como una solución que reduce los costos de hardware y mejora la disponibilidad de almacenamiento de información, mientras que el Blockchain se ha convertido en el cambio clave en el costo del Cloud computing, debido a que esta tecnología permite la descentralización para eliminar las intromisiones en los datos almacenados (Gill et al., 2022).

5.3.4. Problemas de conectividad a internet en el país

Como se observa las tecnologías de la cuarta revolución industrial estudiadas cloud Computing, data analiticis, Internet of things, sistemas ciber físicos, robótica, sensores industriales y controladores, y drones, se comunican entre sí y el usuario, sin el uso de cables comunicadores. Se realiza principalmente a través del uso de internet y conexiones de redes móviles.

El panorama de la conectividad en nuestro país puede significar un desafío para la implementación de las tecnologías en la gestión de los recursos naturales y la contaminación, teniendo en cuenta que, en las zonas apartadas de nuestro país, muchas de ellas sin acceso a comunicaciones podrían presentar dificultades para la implementación de las tecnologías de forma temporal o permanente.

A nivel mundial el consumo de datos en internet ha crecido a una tasa del 100% anual desde el año 1995 hasta 2015 así como el consumo de datos en transmisión soportado por los cambios de hábitos de consumo de la población a nivel mundial, adicionalmente los dispositivos que ese van desarrollando requieren un mayor uso del internet banda ancha, debido al internet of thing (Iot), las conexiones máquina – máquina y el cambio de conexiones fijas a móviles (DNP, 2018).

Lo anterior muestra que se convertirá en una necesidad futura el uso del internet y las comunicaciones para lograr una mayor conexión entre los usuarios (humanos) y maquinas (tecnologías de la cuarta revolución industrial), para cada vez más logra una mayor capacidad de análisis y computación de información, lo que finalmente se refleja en un mejor estudio de los fenómenos como son la gestión de los recursos naturales y la contaminación.

En Colombia existen tres problemáticas que se definen como brechas, La brecha de acceso, que se mide entre quienes tienen acceso y quienes no; la brecha de uso, dada entre los que tienen acceso, pero no hacen uso y la brecha de calidad de uso, a causa de la diferencia en la participación de los que tienen acceso y los que son usuarios(Cervera Quintero, 2021). Aunque el país se ha establecido la meta de 100% de hogares con conexión a internet, el avance en la consecución de las mismas es algo significativo, superando en 3.28% al 11.38% según líneas base propuestas de 2018 y 2015, apuntan en los datos del Departamento Administrativo de Planeación (2020). (Cervera Quintero, 2021).

En el año 2020, el gobierno de Colombia, estableció los servicios de telecomunicaciones, radiodifusión sonora, televisión y postales como esenciales, en consecuencia, deberá garantizarse su instalación, mantenimiento y operación. Lo anterior abre la puerta a mejoras en la conectividad de las zonas que presentan ausencia de conexión, es decir, las zonas rurales del país. Lo anterior se convierte en un desafío para la implementación de las tecnologías de la cuarta revolución industrial debido a que mientras se realiza la interconexión con señales de comunicación e internet en las zonas más apartadas, se van a ir desarrollando nuevas tendencias en las tecnologías que generan mayores necesidades.

A continuación, se muestra en la Tabla No 3, una síntesis de lo descrito anteriormente, en la cual se muestra la aplicabilidad de cada tecnología en la gestión ambiental, y las implicaciones que tendría aplicar cada una de las tecnologías estudiadas en el contexto colombiano

Cloud computing	Data analytics and artificial intelligence	Internet of things	Cyber physical system y industrial sensors and controllers	Robotic	Automated guided vehicles (agv)
----------------------------	-----------------------------------------------------------	-------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------	----------------	--------------------------------------------

Contexto Legal

Se observa que dentro de la normatividad ambiental de Colombia, no se tiene contemplado el uso de nuevas tecnologías, en cuanto que existen protocolos para el monitoreo de las matrices agua, aire y suelo, definidos por el IDEAM, siendo imágenes satelitales y su procesamiento para demostrar el monitoreo de los recursos naturales del país. El IDEAM es la entidad encargada de realizar el monitoreo de la calidad del recurso y las CAR son las encargadas de administrarlos, y no se contempla dentro de la normatividad la validez de estos métodos de monitoreo. Sin embargo podrían apoyar la realización de estudios investigativos ambientales y servir de apoyo para la elaboración de conceptos técnicos sobre el estado de los recursos.

**Requerimientos
técnicos y/u operativos**

<p>Para el funcionamiento de esta tecnología se requiere de servicios en la nube establecidos por una empresa particular con una gran infraestructura, y que por lo general cobra una suscripción periódica. El poder de procesamiento de la computadora se encuentra por fuera de la red local.</p>	<p>Para la aplicación de esta tecnología se requiere de la recopilación de una gran cantidad de datos a través de sensores interconectados a una centralita, y luego de capacidad de computación para el procesamiento y análisis de los datos, así como el desarrollo de software especializado</p>	<p>para la aplicación de los drones requieren de cursos especializados para su pilotaje por requerimiento normativo, de permisos de vuelo sobre el espacio aéreo, además del apoyo de imágenes satelitales de apoyo. Así como georeferenciación del mapeo cartográfico de las mismas</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Aplicabilidad en gestión ambiental	<p>Aplicable en la aplicabilidad en estudios ambientales de gestion ambiental se linea base, asi como el dfetermina a traves de el procesamiento de diseño de nuevos sensores imágenes satelitales de que capturen informacion en apoyo, y analisis de campo del estado de los informacion recolectada recursos naturales y atraves en campo posteriormente de redes de comunicación envíen los datos en tiempo real, que permita el analisis de las variaciones en el estado de los recursos naturales</p>	<p>Su aplicación se encuentra en el hecho de que se pueden mejorar infraestructura ambiental, como sistemas de distribucion de auga para el monitoreo del estado del mismo, que a traves del internet (Wifi) permita su control sin la necesidad de instalaciones fisicas, mas bien de forma remota.</p>	<p>la aplicación de esta tecnologia se determina en el desarrollo de sistemas ciber fisicos para el monitoreo de los recursos naturales, para esto se requiere de sensores y software especializado.</p>	<p>Su aplicabilidad en la gestion ambiental de los recursos naturales se observa principalmente en el procedimiento de tomas de muestras en los recursos agua, aire y suelo, de forma automatica y que permita su recoleccion, procesamiento y analisis en tiempo real, facilitando la entrada a zonas de dificil acceso, lo cual permitira ampliar las zonas y cantidad de muestras al realizar estudios.</p>	<p>se observa que la aplicabilidad en la gestion ambiental de esta tecnologia se enfoca principalmente en el recorrido de grandes distancias y acceso a zonas de analisis, los drones pueden cumplir diversas funciones como la toma de muestras, captura de datos, registrto de fotografias y video, estudio de variables ambientales a traves de sensores adaptados</p>
Costos	<p>De forma general los costos asociados a la tecnologias de la cuarta revolucion industria, y teniendo en cuenta lo expresado por los autores anteriormente, se determinan como bajos o en menor valor que las tecnologias mas tradicionales o antiguas</p>				
Miscelaneos	<p>Se determina que en general el pais necesita de una mayor conectividad en servicios de telecomunicaciones e internet para poder garantizar un funcionamiento de estas tecnologias en las zonas rurales donde se realizan los estudios a los recursos naturales o la contaminacion, teniendo en cuenta que es en estas zonas donde se encuentra el mayor potencial de recursos a estudiar, (ej. Amazonas, Sierra Nevada, Paramos, Region pacifica, etc)</p>				

Tabla 3
Resumen de las implicaciones de las tecnologias de la cuarta revolucion industrial en el contexto Colombiano, fuente Elaboracion Propia

5.4. tendencias de los desarrollos tecnológicos de la cuarta revolución industrial, en la gestión de recursos naturales y control de la contaminación en el contexto colombiano.

Al observar las ventajas y desventajas mencionadas anteriormente se encuentra que los principales retos para la implementación de las tecnologías de la cuarta revolución industrial, dentro de los procesos de gestión de recursos naturales y la contaminación en nuestro país, desde lo general hasta lo particular pasa por; la sostenibilidad del planeta está relacionada en si con los procesos y métodos que se sustentan sobre la aplicación de la tecnología estudiada anteriormente, de esta manera encontramos que temáticas como metodologías de manufactura sostenible, manufactura lean-Green (más eficiente, más sostenible), desarrollo de habilidades virtuales para la producción más limpia, gestión del ciclo de vida a través del blockchain, economía circular, tecnologías, operaciones y suministros sostenibles (Ghobakhloo et al., 2021) se basan en una “automatización” de los procesos, lo que explica que las nuevas tecnologías de la cuarta revolución industrial empezaran a brindar soluciones a nivel empresarial que apunten hacia la sostenibilidad de los procesos de producción.

Dentro de las perspectivas para Colombia en el contexto de la cuarta revolución industrial encontramos, la automatización de los procesos que antes se realizaban de forma manual y sistemas de control a los procesos realizados a través de los sensores y elementos que captan información que posteriormente lo convierten en datos y luego analizados. Se espera que la industria 4.0 de la mano de la tecnología se convierta en una forma de optimizar la energía y los recursos naturales al ser transformados, teniendo en cuenta que las nuevas tecnologías desarrollaran nuevos tipos de extracción de recursos naturales, también servirán en países como el nuestro (extractor de materias primas) a su gestión y control.

Con la aplicación de estas tecnologías es posible conocer una mayor información del proceso, optimizar el uso de energía y recursos en los procesos productivos (Ghobakhloo et al., 2021). Lo anterior, permite inferir que desde una perspectiva a largo plazo se pueda “inventariar” los recursos naturales de una región a través del uso de esta tecnología, planificar la producción (sea cual sea la materia prima que se utilice) y determinar con bastante exactitud la cantidad de

contaminante a generar, lo que después podría significar que otra tecnología monitorice el proceso de contaminación y tratamiento de la materia y energía residual generada en el proceso productivo.

Los retos que como país poseemos se relacionan con la formación de técnicos y científicos en el desarrollo y aplicación de estas tecnológicas, así como, en el ámbito legal en el que se aplican estas tecnologías, validación de métodos de monitoreo, la interconexión y operatividad de las comunicaciones y el internet en las condiciones del país. Como se mencionó algunas de las consideraciones futuras como país pasan desde ampliar el saber-saber de las personas sobre el alcance de los avances tecnológicos que trajo la cuarta revolución industrial hasta el desarrollo de metodologías y técnicas que permitan a los humanos entender y procesar la cantidad, y la velocidad de los datos a los que se producen (Zunino, Valenzano, Obermaisser, & Petersen, 2020)

La transformación de Colombia a nivel de nuevas tecnologías se considera un proceso lento, debido a que requiere de la infraestructura necesaria para garantizar el funcionamiento de la red de comunicaciones y el internet, este proceso requiere de la inyección de capital por parte del sector público y privado, El gobierno de Colombia viene identificando las oportunidades de mejora en este sentido estableciendo la política pública de Tecnologías de información y comunicación (Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022), El Decreto Único Reglamentario Del Sector de las TIC¹, y los programas de ampliación de cobertura de conexión móvil e internet que a agosto 2022 plantean conectar el 70% del territorio nacional. (Ministerio de las comunicaciones, consultado el 18 de noviembre de 2022.)

¹ Decreto 464 de 2020

6. Conclusiones

Se identificó los principales avances tecnológicos que pertenecen a la cuarta revolución industrial, de esta manera encontramos que tecnologías como: cloud computing, analítica de datos, inteligencia artificial, Internet de las cosas, sistemas ciber físicos, Robótica, sensores industriales, vehículos guiados automáticamente (drones), son de común interés en los autores consultados y poseen aplicaciones dentro de la gestión de los recursos naturales y el control de la contaminación.

Estos avances tecnológicos están estrechamente relacionados con los conceptos de gestión de los recursos naturales y la contaminación en términos de dos áreas específicas como monitoreo de recursos naturales (muestreo, análisis de datos y elaboración de modelos de predicción) y la medición, identificación, y seguimiento de la contaminación. Estas tecnologías permiten realizar tareas específicas en forma más rápida y eficiente, y en tiempo real. Generando con esto grandes cantidades de información que servirá para la toma de decisiones, la automatización de procesos, ingreso a áreas inaccesibles, ampliación de las redes de monitoreo y áreas de estudio, disminución en los costos, entre otras.

Se observaron distintas aplicaciones de las tecnologías de la cuarta revolución industrial, las cuales son aplicadas a la gestión de los recursos naturales y el control de la contaminación a través del desarrollo de nuevas metodologías y optimización de las existentes en lo relacionado con 1) Captura de datos, 2) análisis de datos, 3) transmisión de datos 4) control remoto 5) accesibilidad y facilitación de procesos y logística 6) automatización 7) predicción y modelamiento de las características, estado y comportamiento de los fenómenos que acompañan a los recursos naturales y la contaminación, permitiendo el estudio de forma más rápida y eficiente de estas tres particularidades mencionadas en cada una de las matrices ambientales (agua, aire y suelo) y la contaminación asociada a estas.

La principal desventaja identificada con las nuevas tecnologías de la cuarta revolución industrial en el contexto colombiano se observa en la ausencia de normatividad que permita el uso de estas tecnologías dentro de los procesos tradicionales de monitoreo de recursos naturales, así como, aceptación de estas por parte de las autoridades; siendo que los protocolos generados por el

IDEAM, deben ser actualizados para que se permita la validación y uso de nuevas técnicas y procedimientos generados por las nuevas tecnologías. Además, la falta de infraestructura que permita la conectividad de nuevos dispositivos a las redes de comunicación e internet es un obstáculo para el uso de estos dispositivos de forma remota o en zonas rurales alejadas de los cascos urbanos y sin servicios de comunicaciones, que en muchas ocasiones coinciden con las zonas de importancia ecológica donde se realizan los estudios ambientales

Pese a los retos que como país se presentan para la implantación de las tecnologías de la cuarta revolución industrial en todas las esferas de la sociedad, y principalmente en el ámbito de la gestión de los recursos naturales y el control de la contaminación, encontramos que las tecnologías que aparecen en esta nueva era, podrían ser aplicables al contexto colombiano y a el estudio de los recursos naturales, siempre y cuando se resuelva; los problemas legislativos, que permitan de la mano de otros países la aceptación, calibración y validación de los datos e información generada por las nuevas tecnologías aquí estudiadas; fortalecimiento de la investigación, que propenda por establecer la precisión de estas tecnologías, su valides en la captura y transmisión de información, y su confiabilidad; la mejora en la infraestructura de las comunicaciones, debe ser realizada de una forma mucho más rápida, se requiere un mayor avance en la ejecución de los planes y políticas en el sector TIC, y que los mismos abarquen principalmente las zonas de importancia ecológica como zonas del sistema de parques naturales, paramos, reservas forestales, selvas, humedales, y demás que existen en nuestro país que no cuentan con servicios de comunicaciones.

Se podría estimar que a futuro mucho de los estudios ambientales empiecen a implementar información captada a partir de Drones, sensores instalados en fuentes hídricas y que no requieren de estaciones de monitoreo fijas, robots que realicen levantamientos de coberturas vegetales o análisis de riesgos ambientales a partir de imágenes satelitales, entre otros.

7. Referencias

- Abbasi, M., & El Hanandeh, A. (2016). Forecasting municipal solid waste generation using artificial intelligence modelling approaches. *Waste Management*, *56*, 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.05.018>
- Abhishek, M. B., & Shet, N. S. V. (2019). Cyber physical system perspective for smart water management in a campus. *Desalination and Water Treatment*, *147*, 296–307. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.23691>
- Adedeji, K. B., & Hamam, Y. (2020). Cyber-physical systems for water supply network management: Basics, challenges, and roadmap. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(22), 1–30. <https://doi.org/10.3390/su12229555>
- Ahmed, M., Mumtaz, R., & Zaidi, S. M. H. (2021). Analysis of water quality indices and machine learning techniques for rating water pollution: A case study of Rawal Dam, Pakistan. *Water Science and Technology: Water Supply*, *21*(6), 3225–3250. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.082>
- Ahmed, S. S., Bali, R., Khan, H., Mohamed, H. I., & Sharma, S. K. (2021). Improved water resource management framework for water sustainability and security. *Environmental Research*, *201*(May), 111527. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111527>
- Alghofaili, Y., Albattah, A., Alrajeh, N., Rassam, M. A., & Al-rimy, B. A. S. (2021). Secure Cloud Infrastructure: A Survey on Issues, Current Solutions, and Open Challenges. *Applied Sciences*, *11*(19), 9005. <https://doi.org/10.3390/app11199005>

Almeida, P. L. de, Lima, L. M. A., & Almeida, L. F. de. (2021). A 3D-printed robotic system for fully automated multiparameter analysis of drinkable water samples. *Analytica Chimica Acta*, 1169. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2021.338491>

Amani, M., Ghorbanian, A., Ahmadi, S. A., Kakooei, M., Moghimi, A., Mirmazloumi, S. M., ... Brisco, B. (2020). Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 5326–5350. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2020.3021052>

Arvaree, T., & Perumal, T. (2021). IoT based car pollution detection using cloud computing. *International Journal of Environmental Science and Development*, 12(8), 226–231. <https://doi.org/10.18178/IJESD.2021.12.8.1344>

Asadzadeh, S., Oliveira, W. J. de, & Souza Filho, C. R. de. (2021). UAV-based remote sensing for the petroleum industry and environmental monitoring: State-of-the-art and perspectives. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 208(October 2021), 109633. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.109633>

Balarengadurai, C., Akilandeswari, A., Raja, A., & Kalimuthu, K. (2021). Community-Friendly and Cost-Effective Monitoring Device for Environmental Pollution Using IoT. *Journal of Physics: Conference Series*, 1964(4). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1964/4/042030>

Bao, C., Seol, S. K., & Kim, W. S. (2021). A 3D integrated neuromorphic chemical sensing system.

Sensors and Actuators, B: Chemical, 332(January), 129527. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2021.129527>

Berger, C., Eichhammer, P., Reiser, H. P., Domaschka, J., Hauck, F. J., & Habiger, G. (2022). A Survey on Resilience in the IoT: Taxonomy, Classification, and Discussion of Resilience Mechanisms. *ACM Computing Surveys*, 54(7). <https://doi.org/10.1145/3462513>

Berie, H. T., & Burud, I. (2018). Application of unmanned aerial vehicles in earth resources monitoring: Focus on evaluating potentials for forest monitoring in Ethiopia. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 326–335. <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1432993>

Bezic, H., Balaz, D., & Buljat, B. (2020). Harmonization of curriculum with the needs and requests of the Fourth Industrial Revolution: Case of Faculty of Economics and Business Rijeka. In

K. M., S. K., C. Z., C.-S. M., S. V., S. D., ... G. V. (Eds.) (pp. 694–699). University of Rijeka, Faculty of Economics and Business Rijeka, Rijeka, Croatia: Institute of Electrical and

Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.23919/MIPRO48935.2020.9245191>

Bhardwaj, J., Gupta, K. K., & Gupta, R. (2018). Towards a cyber-physical era: Soft computing framework based multi-sensor array for water quality monitoring. *Drinking Water Engineering and Science*, *11*(1), 9–17. <https://doi.org/10.5194/dwes-11-9-2018>

Briechele, S., Molitor, N., Krzystek, P., & Vosselman, G. (2020). Detection of radioactive waste sites in the Chernobyl exclusion zone using UAV-based lidar data and multispectral imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *167*(November 2019), 345–362. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.06.015>

Cervera Quintero, J. P. (2021). Conectividad de Internet en Colombia y su relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (2015-2020). *Ciencia y Poder Aéreo*, *16*(1), 39–54. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.705>

Chang, G. (2021). Urban air pollution diffusion status and sports training physical fitness measurement based on the Internet of things system. *Arabian Journal of Geosciences*, *14*(16). <https://doi.org/10.1007/s12517-021-07947-x>

Chen, J., & Shi, Y. (2021). Stochastic model predictive control framework for resilient cyber-physical systems: Review and perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, *379*(2207). <https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0371>

Chen, P.-C., & Lin, Y.-T. (2022). Exposure assessment of PM_{2.5} using smart spatial interpolation on regulatory air quality stations with clustering of densely-deployed microsensors. *Environmental Pollution*, *292*(PB), 118401. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118401>

Chętan, M. A., & Dornik, A. (2021). 20 years of landscape dynamics within the world's largest multinational network of protected areas. *Journal of Environmental Management*, *280*. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111712>

Chhikara, P., Tekchandani, R., Kumar, N., & Member, S. (2021). Federated Learning and Autonomous UAVs for Hazardous Zone Detection and AQI Prediction in IoT Environment.

IEEE Internet of Things Journal, 8(20), 15456–15467.

<https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3074523>

Da Silva Junior, A. G., De Lima Sa, S. T., Dos Santos, D. H., De Negreiros, Á. P. F., De Souza Silva, J. M. V. B., Álvarez Jacobo, J. E., & Garcia Gonçalves, L. M. (2016). Towards a real-time embedded system for water monitoring installed in a robotic sailboat. *Sensors*

(Switzerland), 16(8), 1–19. <https://doi.org/10.3390/s16081226>

Dan Moiş, G., Sanislav, T., Folea, S. C., & Zeadally, S. (2018). Performance evaluation of energy- autonomous sensors using power-harvesting beacons for environmental monitoring in internet of things (IoT). *Sensors (Switzerland)*, 18(6), 1–21. <https://doi.org/10.3390/s18061709>

Dervisoglu, A. (2021). Analysis of the temporal changes of inland ramsar sites in turkey using google earth engine. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/ijgi10080521>

Dini, B., Bennett, G. L., Franco, A. M. A., Whitworth, M. R. Z., Cook, K. L., Senn, A., & Reynolds, J. M. (2021). Development of smart boulders to monitor mass movements via the Internet of Things: A pilot study in Nepal. *Earth Surface Dynamics*, 9(2), 295–315. <https://doi.org/10.5194/esurf-9-295-2021>

DNP, D. N. de P. (2018). Impacto económico del servicio de, 1–83.

Drohan, P. J., Bechmann, M., Buda, A., Djodjic, F., Doody, D., Duncan, J. M., ... Withers, P. J.

A. (2019). A global perspective on phosphorus management decision support in agriculture: Lessons learned and future directions. *Journal of Environmental Quality*, 48(5), 1218–1233. <https://doi.org/10.2134/jeq2019.03.0107>

Dumanska, I., Vasykivskyi, D., Zhurba, I., Pukhalska, Y., Matviiets, O., & Goncharuk, A. (2021). Dronology and 3d printing as a catalyst for international trade in industry 4.0. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 17, 740–757. <https://doi.org/10.37394/232015.2021.17.71>

Duque, O. M., Puentes, A. M., Duque, M. C., & Rodríguez, B. S. (2020). Sistema móvil de monitoreo de gases en el ambiente (SIMA). *MetalNNova. SENA, Centro Metalmeccánico Regional.*, 1(3), 11–20.

Erkinay Ozdemir, M., Ali, Z., Subeshan, B., & Asmatulu, E. (2021). Applying machine learning approach in recycling. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 23(3), 855–871. <https://doi.org/10.1007/s10163-021-01182-y>

Fleming, S. W., Garen, D. C., Goodbody, A. G., McCarthy, C. S., & Landers, L. C. (2021). Assessing the new Natural Resources Conservation Service water supply forecast model for the American West: A challenging test of explainable, automated, ensemble artificial intelligence. *Journal of Hydrology*, 602. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126782>

Framework, C. S., Sun, C., & Puig, V. (2020). Real-Time Control of Urban Water Cycle under.

Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of*

Cleaner Production, 252, 119869. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869>

Ghobakhloo, M., Fathi, M., Iranmanesh, M., Maroufkhani, P., & Morales, M. E. (2021). Industry

4.0 ten years on: A bibliometric and systematic review of concepts, sustainability value drivers, and success determinants. *Journal of Cleaner Production*, 302, 127052. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127052>

Gill, S. H., Razzaq, M. A., Ahmad, M., Almansour, F. M., Haq, I. U., Jhanjhi, N., ... Masud, M. (2022). Security and privacy aspects of cloud computing: A smart campus case study. *Intelligent Automation and Soft Computing*, 31(1), 117–128. <https://doi.org/10.32604/IASC.2022.016597>

González-Briones, A., Castellanos-Garzón, J. A., Mezquita Martín, Y., Prieto, J., & Corchado, J.

M. (2018). A framework for knowledge discovery from wireless sensor networks in rural environments: A crop irrigation systems case study. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/6089280>

Gooneratne, C. P., Magana-Mora, A., Contreras Otalvora, W., Affleck, M., Singh, P., Zhan, G. D., & Moellendick, T. E. (2020). Drilling in the Fourth Industrial Revolution-Vision and Challenges. *IEEE Engineering Management Review*, 48(4), 144–159. <https://doi.org/10.1109/EMR.2020.2999420>

Grandy, J. J., Galpin, V., Singh, V., & Pawliszyn, J. (2020). Development of a Drone-Based Thin- Film Solid-Phase Microextraction Water Sampler to Facilitate On-Site Screening of Environmental Pollutants. *Analytical Chemistry*, 92(19), 12917–12924. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.0c01490>

Hamid, M. S. R. A., Masrom, N. R., & Mazlan, N. A. B. (2022). The key factors of the industrial revolution 4.0 in the Malaysian smart manufacturing context. *International Journal*

of Asian Business and Information Management, 13(2), 1–19.

<https://doi.org/10.4018/IJABIM.20220701.oa6>

Hernandez, M., & Rivas, D. (2020). *Globalización, constitucionalismo y cultura de paz. Globalización, constitucionalismo y cultura de paz*. Retrieved from [https://www.academia.edu/42018121/Globalización constitucionalismo y cultura de paz](https://www.academia.edu/42018121/Globalización_constitucionalismo_y_cultura_de_paz)

Horstrand, P., Guerra, R., Rodriguez, A., Diaz, M., Lopez, S., & Lopez, J. F. (2019). A UAV

Platform Based on a Hyperspectral Sensor for Image Capturing and On-Board Processing.

IEEE Access, 7, 66919–66938. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2913957>

Huang, C., Li, J., Sun, W., Chen, Q., Mao, Q. J., & Yuan, Y. (2021). Long-term variation assessment of aerosol load and dominant types over asia for air quality studies using multi-sources aerosol datasets. *Remote Sensing*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/rs13163116>

Huntington, J., McGwire, K., Morton, C., Snyder, K., Peterson, S., Erickson, T., ... Allen, R. (2016). Assessing the role of climate and resource management on groundwater dependent ecosystem changes in arid environments with the Landsat archive. *Remote Sensing of Environment*, 185, 186–197. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.07.004>

Inoue, Y. (2020). Satellite- and drone-based remote sensing of crops and soils for smart farming— a review. *Soil Science and Plant Nutrition*. <https://doi.org/10.1080/00380768.2020.1738899>

Jia, X., Cao, Y., O'Connor, D., Zhu, J., Tsang, D. C. W., Zou, B., & Hou, D. (2021). Mapping soil pollution by using drone image recognition and machine learning at an arsenic-contaminated agricultural field. *Environmental Pollution*, 270, 116281.

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116281>

Kaginalkar, A., Kumar, S., Gargava, P., & Niyogi, D. (2021). Review of urban computing in air quality management as smart city service: An integrated IoT, AI, and cloud technology perspective. *Urban Climate*, 39(July), 100972. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100972>

Kamaruzaman, F. M., Hamid, R., Mutalib, A. A., & Rasul, M. S. (2019). Conceptual framework for the development of 4IR skills for engineering graduates. *Global Journal of Engineering Education*, 21(1), 54–61. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-85063322135&partnerID=40&md5=2a84c0889011557481323386f52a5fb4> s2.0-

Kamaruzamani, F. M., Hamid, R., Mutalib, A. A., & Rasul, M. S. (2019). Emotional intelligence attributes for engineering graduates of the industrial revolution 4.0. *International*

Journal of Innovation, Creativity and Change, 7(11), 326–343.

Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85077237579&partnerID=40&md5=722782f20fa9babb6843427d46de8e58>

Kasse, J. P., Xu, L., deVrieze, P., & Bai, Y. (2019). Verifying for Compliance to Data Constraints in Collaborative Business Processes. (C.-M. L.M., A. H., & A. D., Eds.). Department of Computing and Informatics, Faculty of Science and Technology, Bournemouth University, Poole, BH12 5BB, United Kingdom: Springer New York LLC. <https://doi.org/10.1007/978->

3-030-28464-0_23

Kayhomayoon, Z., Arya Azar, N., Ghordoyee Milan, S., Kardan Moghaddam, H., & Berndtsson,

R. (2021). Novel approach for predicting groundwater storage loss using machine learning. *Journal of Environmental Management*, 296. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113237>

Kim, H., Jung, W.-K., Choi, I.-G., & Ahn, S.-H. (2019). A low-cost vision-based monitoring of computer numerical control (CNC) machine tools for small and medium-sized enterprises (SMES). *Sensors (Switzerland)*, 19(20). <https://doi.org/10.3390/s19204506>

Lewis, S. A., Robichaud, P. R., Hudak, A. T., Strand, E. K., Eitel, J. U. H., & Brown, R. E. (2021). Evaluating the persistence of post-wildfire ash: A multi-platform spatiotemporal analysis. *Fire*, 4(4). <https://doi.org/10.3390/fire4040068>

Liu, C., Zhang, Q., Tao, S., Qi, J., Ding, M., Guan, Q., ... Elnashar, A. (2020). A new framework to map fine resolution cropping intensity across the globe: Algorithm, validation, and implication. *Remote Sensing of Environment*, 251(September), 112095. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112095>

Liu, T., Sun, Y., Wang, C., Zhang, Y., Qiu, Z., Gong, W., ... Duan, X. (2021). Unmanned aerial vehicle and artificial intelligence revolutionizing efficient and precision sustainable forest management. *Journal of Cleaner Production*, 311(February). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127546>

Liu, X., Shi, X. Q., He, H. Di, Li, X. B., & Peng, Z. R. (2021). Vertical distribution characteristics of particulate matter beside an elevated expressway by unmanned aerial vehicle measurements. *Building and Environment*, 206(August), 108330.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108330>

Loeffler, C. R., Tartaglione, L., Friedemann, M., Spielmeier, A., Kappenstein, O., & Bodi, D. (2021). Ciguatera mini review: 21st century environmental challenges and the interdisciplinary

research efforts rising to meet them. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(6), 1–27. <https://doi.org/10.3390/ijerph18063027>

Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>

Luis, J., López, C., Antonio, L., & Ortega, C. (2019). Diseño y ensamble de la arquitectura física de un Dron, para dosimetría ambiental de los cultivos bioenergéticos.

Mach-Król, M., & Hadasik, B. (2021). On a certain research gap in big data mining for customer insights. *Applied Sciences (Switzerland)*, *11*(15). <https://doi.org/10.3390/app11156993>

Marques, G., Miranda, N., Bhoi, A. K., Garcia-zapirain, B., Hamrioui, S., & Díez, I. de la T. (2020). Internet of things and enhanced living environments: Measuring and mapping air quality using cyber-physical systems and mobile computing technologies. *Sensors (Switzerland)*, *20*(3), 1–20. <https://doi.org/10.3390/s20030720>

Masciopinto, C., Vurro, M., Palmisano, V. N., & Liso, I. S. (2017). A Suitable Tool for Sustainable Groundwater Management. *Water Resources Management*, *31*(13), 4133–4147. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1736-0>

Mora-sánchez, D., & Guerrero-marín, L. (2020). Hacia Las Organizaciones Digitales, *8*(8), 191– 214.

Nakamoto, N., & Kobayashi, H. (2019). Development of an Open-source Educational and Research Platform for Autonomous Cars (Vol. 2019-October, pp. 6871–6876). Graduate School of Robotics Design, Osaka Institute of Technology, Osaka, Japan: IEEE Computer Society. <https://doi.org/10.1109/IECON.2019.8926794>

Nguyen, X. T., & Luu, Q. K. (2020). Factors affecting adoption of industry 4.0 by small-and medium-sized enterprises: A case in Ho Chi Minh city, Vietnam. *Journal of Asian Finance, Economics and Business*, *7*(6), 255–264. <https://doi.org/10.13106/JAFEB.2020.VOL7.NO6.255>

Nikolopoulos, D., Moraitis, G., Bouziotas, D., Lykou, A., Karavokiros, G., & Makropoulos, C. (2020). Cyber-Physical Stress-Testing Platform for Water Distribution Networks. *Journal of Environmental Engineering*, *146*(7), 04020061. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ee.1943-7870.0001722](https://doi.org/10.1061/(asce)ee.1943-7870.0001722)

Nimawat, D., & Gidwani, B. D. (2021). Prioritization of barriers for Industry 4.0 adoption in the context of Indian manufacturing industries using AHP and ANP analysis. *International*

Journal of Computer Integrated Manufacturing.

<https://doi.org/10.1080/0951192X.2021.1963481>

Nooralishahi, P., Ibarra-Castanedo, C., Deane, S., López, F., Pant, S., Genest, M., ...
Maldague,

X. P. V. (2021). Drone-based non-destructive inspection of industrial sites: A review and case studies. *Drones*, 5(4), 1–29. <https://doi.org/10.3390/drones5040106>

Ortiz, J. diego V., & Torres, M. A. P. (2018). PROTOTIPO BASADO EN INTERNET DE LAS
LAS

COSAS PARA EL MONITOREO AMBIENTAL COMO CONTRIBUCIÓN A LA ORIENTACIÓN DE BUCARAMANGA (COLOMBIA) HACIA SMART CITY. *UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA – UNAB, FACULTAD DE INGENIERIA, 151(2)*, 10–17.

Pan, Y., Liu, X., Qian, L., Cui, Y., Zheng, X., Kang, Y., ... Wang, D. (2021). A hand-held optoelectronic tongue for the identification of heavy-metal ions. *Sensors and Actuators B: Chemical, 352(P1)*, 130971. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2021.130971>

Pandey, B., Farulla, G. A., Indaco, M., Iovino, L., & Prinetto, P. (2019). Design and Review of Water Management System Using Ethernet, Wi-Fi 802.11n, Modbus, and Other Communication Standards. *Wireless Personal Communications, 106(4)*, 1677–1699. <https://doi.org/10.1007/s11277-018-5380-7>

Peña-Ortega, M., Del Rio-Salas, R., Valencia-Sauceda, J., Mendívil-Quijada, H., Minjarez-Osorio, C., Molina-Freaner, F., ... Moreno-Rodríguez, V. (2019). Environmental assessment and historic erosion calculation of abandoned mine tailings from a semi-arid zone of northwestern Mexico: insights from geochemistry and unmanned aerial vehicles. *Environmental Science and Pollution Research, 26(25)*, 26203–26215. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05849-w>

Pérez, M., Farfan, A., & Gerlein, E. (2021). IDC Sensor for Low-Cost Water Quality Monitoring Applications *, 26.

Pulido Fentanes, J., Badiee, A., Duckett, T., Evans, J., Pearson, S., & Cielniak, G. (2020). Kriging- based robotic exploration for soil moisture mapping using a cosmic-ray sensor. *Journal of Field Robotics, 37(1)*, 122–136. <https://doi.org/10.1002/rob.21914>

Qian, F., Lee, D., Nikolich, G., Koditschek, D., & Jerolmack, D. (2019). Rapid In Situ Characterization of Soil Erodibility With a Field Deployable Robot. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 124(5)*, 1261–1280. <https://doi.org/10.1029/2018JF004887>

Rabajczyk, A., Zboina, J., Zielecka, M., & Fellner, R. (2020). Monitoring of selected cbrn threats in the air in industrial areas with the use of unmanned aerial vehicles. *Atmosphere*, *11*(12), 1– 19. <https://doi.org/10.3390/atmos11121373>

Rodríguez, S. G., & Montoya, M. M. (2018). DESARROLLO DE DISPOSITIVO PORTÁTIL PARA MONITOREAR INFORMACIÓN AMBIENTAL Y DE INTERÉS PARA CICLISTAS, 1–87.

Rymarczyk, J. (2021). The impact of industrial revolution 4.0 on international trade.

Entrepreneurial Business and Economics Review, 9(1), 105–117.
<https://doi.org/10.15678/EBER.2021.090107>

Saetta, D., Padda, A., Li, X., Leyva, C., Mirchandani, P. B., Boscovic, D., & Boyer, T. H. (2019). Water and Wastewater Building CPS: Creation of Cyber-Physical Wastewater Collection System Centered on Urine Diversion. *IEEE Access*, 7, 182477–182488.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2959992>

Saini, J., Dutta, M., & Marques, G. (2020). A comprehensive review on indoor air quality monitoring systems for enhanced public health. *Sustainable Environment Research*, 30(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s42834-020-0047-y>

Sajedi-Hosseini, F., Malekian, A., Choubin, B., Rahmati, O., Cipullo, S., Coulon, F., & Pradhan,

B. (2018). A novel machine learning-based approach for the risk assessment of nitrate groundwater contamination. *Science of the Total Environment*, 644, 954–962.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.054>

Secinaro, S., Calandra, D., Secinaro, A., Muthurangu, V., & Biancone, P. (2021). The role of artificial intelligence in healthcare: a structured literature review. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 21(1), 1–23. <https://doi.org/10.1186/s12911-021-01488-9>

Seier, G., Hödl, C., Abermann, J., Schöttl, S., Maringer, A., Hofstadler, D. N., ... Lieb, G. K. (2021). Unmanned aircraft systems for protected areas: Gadgetry or necessity? *Journal for Nature Conservation*, 64(October). <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2021.126078>

Sharafati, A., Asadollah, S. B. H. S., & Neshat, A. (2020). A new artificial intelligence strategy for predicting the groundwater level over the Rafsanjan aquifer in Iran. *Journal of Hydrology*, 591. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125468>

Sheng, L., Zhou, J., Li, X., Pan, Y., & Liu, L. (2020). Water quality prediction method based on preferred classification. *IET Cyber-Physical Systems: Theory and Applications*, 5(2), 1–5.
<https://doi.org/10.1049/iet-cps.2019.0062>

Sit, M., Demiray, B. Z., Xiang, Z., Ewing, G. J., Sermet, Y., & Demir, I. (2020). A comprehensive review of deep learning applications in hydrology and water resources. *Water Science and Technology*, 82(12), 2635–2670. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.369>

Sprincean, V., Paladi, A., Bulimaga, T., & Paladi, F. (2020). UVS in monitoring of environmental factors. *2020 IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace, MetroAeroSpace 2020 - Proceedings*, (20), 78–83.

<https://doi.org/10.1109/MetroAeroSpace48742.2020.9160057>

Takara, G., Zachary Trimble, A., Arata, R., Brown, S., Jaime Gonzalez, H., & Mora, C. (2021). An inexpensive robotic gantry to screen and control soil moisture for plant experiments. *HardwareX*, 9, e00174. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2021.e00174>

Trevathan, J., Schmidtke, S., Read, W., Sharp, T., & Sattar, A. (2021). An IoT General-Purpose Sensor Board for Enabling Remote Aquatic Environmental Monitoring. *Internet of Things (Netherlands)*, 16(February), 100429. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2021.100429>

Udotalapally, V., Mohanty, S. P., Pallagani, V., & Khandelwal, V. (2021). SCrop: A Novel Device for Sustainable Automatic Disease Prediction, Crop Selection, and Irrigation in Internet-of- Agro-Things for Smart Agriculture. *IEEE Sensors Journal*, 21(16), 17525–17538. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3032438>

Villa, F., Bagstad, K. J., Voigt, B., Johnson, G. W., Portela, R., Honzák, M., & Batker, D. (2014). A methodology for adaptable and robust ecosystem services assessment. *PLoS ONE*, 9(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091001>

Villate Barrera, C. L. (2018). Sistema para la medición de gases de efecto invernadero mediante los principios del internet de las cosas, alineado al cumplimiento de los compromisos de Colombia ante las naciones unidas. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11634/10735>

Wan, D., & Yin, S. (2021). Construction of Ecological Environment Information System Based on Big Data: A Case Study on Dongting Lake Ecological Area. *Mobile Information Systems*, 2021, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2021/3885949>

Wang, B., Farooque, M., Zhong, R. Y., Zhang, A., & Liu, Y. (2021). Internet of Things (IoT)-Enabled accountability in source separation of household waste for a circular economy in China. *Journal of Cleaner Production*, 300. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126773>

Wang, R., Xia, H., Qin, Y., Niu, W., Pan, L., Li, R., ... Fu, P. (2020). Dynamic monitoring of surface water area during 1989–2019 in the hetao plain using landsat data in google earth engine. *Water (Switzerland)*, 12(11), 1–21. <https://doi.org/10.3390/w12113010>

Wang, S., Lin, W., & Shu, Y. (2021). Design of Machine Learning Prediction System Based on the Internet of Things Framework for Monitoring Fine PM Concentrations.

Wendt, E. A., Quinn, C., L'Prange, C., Miller-Lionberg, D. D., Ford, B., Pierce, J. R., ... Volckens,

J. (2021). A low-cost monitor for simultaneous measurement of fine particulate matter and aerosol optical depth - Part 3: Automation and design improvements. *Atmospheric*

Measurement Techniques, 14(9), 6023–6038. <https://doi.org/10.5194/amt-14-6023-2021>
Williams, R., Kilaru, V. J., Snyder, E. G., Kaufman, A., Dye, T., Rutter, A., ... Hafner, H. (2014).

Air Sensor Guidebook. *Epa/600/R-14/159*, (1), 1–5. Retrieved from https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_report.cfm?dirEntryId=277996&simpleSearch=1&searchAll=air+sensor+guidebook

Wong, W. Y., Al-Ani, A. K. I., Hasikin, K., Khairuddin, A. S. M., Razak, S. A., Hizaddin, H. F.,

... Azizan, M. M. (2021). Water, Soil and Air Pollutants' Interaction on Mangrove Ecosystem and Corresponding Artificial Intelligence Techniques Used in Decision Support Systems - A Review. *IEEE Access*, 9, 105532–105563. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3099107>

Worthington, T. A., Andradi-Brown, D. A., Bhargava, R., Buelow, C., Bunting, P., Duncan, C.,

... Spalding, M. (2020). Harnessing Big Data to Support the Conservation and Rehabilitation of Mangrove Forests Globally. *One Earth*, 2(5), 429–443. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.04.018>

Wu, C., Liu, B., Wu, D., Yang, H., Mao, X., Tan, J., ... Li, Y. J. (2021). Vertical profiling of black carbon and ozone using a multicopter unmanned aerial vehicle (UAV) in urban Shenzhen of South China. *Science of the Total Environment*, 801, 149689. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149689>

Yang, C. T., Chen, H. W., Chang, E. J., Kristiani, E., Nguyen, K. L. P., & Chang, J. S. (2021). Current advances and future challenges of AIoT applications in particulate matters (PM) monitoring and control. *Journal of Hazardous Materials*, 419(May). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126442>

Yebeles Serrano, J., & Zorrilla, M. (2021). A Data Governance Framework for Industry 4.0. *IEEE Latin America Transactions*, 19(12), 2130–2138. <https://doi.org/10.1109/TLA.2021.9480156> Zhang, C., Valente, J., Kooistra, L., Guo, L., &

Wang, W. (2021). *Orchard management with small unmanned aerial vehicles: a survey of sensing and analysis approaches*. *Precision*

Agriculture (Vol. 22). Springer US. <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09813-y>

Zhang, J., Sheng, Y., Chen, W., Lin, H., Sun, G., & Guo, P. (2021). Design and analysis of a water quality monitoring data service platform. *Computers, Materials and Continua*, 66(1), 389–405. <https://doi.org/10.32604/cmc.2020.012384>

Zunino, C., Valenzano, A., Obermaisser, R., & Petersen, S. (2020). Factory Communications at the Dawn of the Fourth Industrial Revolution. *Computer Standards and Interfaces*, 71.

<https://doi.org/10.1016/j.csi.2020.103433>

Andrés, G., Hernández, C., & Rodríguez, E. V. (2016). Las Geotecnologías y los sistemas de apoyo para la planeación en el ordenamiento territorial Geotechnology and planning support systems in territorial ordering. *Investigación Científica y Tecnológica - Universidad Del Bosque*, 18.

Bekić, D., Halkijević, I., Gilja, G., Lončar, G., Carević, D., & Potočki, K. (2019). Examples of trends in water management systems under influence of modern technologies. *Gradjevinar*, 71(10), 833–842. <https://doi.org/10.14256/JCE.2728.2019>

Fatimah, Y. A., Govindan, K., Murniningsih, R., & Setiawan, A. (2020). Industry 4.0 based sustainable circular economy approach for smart waste management system to achieve sustainable development goals: A case study of Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, 269, 122263. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122263>

Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability.

Journal of Cleaner Production, 252, 119869. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869>

Hernandez, M., & Rivas, D. (2020). *Globalización, constitucionalismo y cultura de paz*.

Globalización, constitucionalismo y cultura de paz. Retrieved from https://www.academia.edu/42018121/Globalización_constitucionalismo_y_cultura_de_paz

Jordan, G., Carlos, R., & Jesus, C. (2017). Adquisición de señales ambientales para un sistema de alerta temprana.

Martínez, R., Palma, A., & Velásquez, A. (2020). Revolución tecnológica e inclusión social. *Naciones Unidas*, 233, 87.

Obade, V. de P., & Gaya, C. (2021). Digital technology dilemma: on unlocking the soil quality index conundrum. *Bioresources and Bioprocessing*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40643-020-00359-x>

Oberascher, M., Kinzel, C., Kastlunger, U., Kleidorfer, M., Zingerle, C., Rauch, W., & Sitzenfrei, R. (2021). Integrated urban water management with micro storages developed as an IoT-based solution – The smart rain barrel. *Environmental Modelling and Software*, 139(March), 105028. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105028>

Perasso, V. (2016). Qué es la cuarta revolución industrial (y por qué debería preocuparnos). *BBC Mundo*, 1–13. Retrieved from https://www.bbc.com/mundo/noticias-37631834?ocid=socialflow_facebook

PGN. (2016). *Abc de los POT*. Procuraduría General de la Nación.

Singh, D., Dahiya, M., Kumar, R., & Nanda, C. (2021). Sensors and systems for air quality assessment monitoring and management : A review. *Journal of Environmental Management*, 289(April), 112510. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112510>

Singh, M., & Ahmed, S. (2020). IoT based smart water management systems: A systematic review. *Materials Today: Proceedings*, (xxxx). <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.588>

Song, W., Song, W., Gu, H., & Li, F. (2020). Progress in the remote sensing monitoring of the ecological environment in mining areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph17061846>

UCSD. (2017). Water quality management for redevelopment. Retrieved from <https://communityviz.city-explained.com/PDFs/planning/UCSDWaterModel.pdf>

Ustin, S. L., & Middleton, E. M. (2021). Current and near-term advances in Earth observation for ecological applications. *Ecological Processes*, 10(1), 1–57. <https://doi.org/10.1186/s13717-020-00255-4>

Viloria, wilmer Q. C. A. R. A. M. (2017). istema de informacion para deteccion de crecientes subitas en la cuenca del rio manzanares en Santa Marta, Colombia. *Informacion Tecnologica*, 28, 95–102.

Wang, B., Farooque, M., Zhong, R. Y., Zhang, A., & Liu, Y. (2021). Internet of Things (IoT)-Enabled accountability in source separation of household waste for a circular economy in China. *Journal of Cleaner Production*, 300. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126773>

Yadav, N., Garg, V. K., Chhillar, A. K., & Rana, J. S. (2021). Detection and Remediation of Pollutants to maintain Ecosustainability employing Nanotechnology: A Review. *Chemosphere*, 130792. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130792>

Sanchez, L. E. (2012). *Evaluacion del impacto Ambiental* . Bogota: Ecoe Ediciones. ADDIN Mendeley Bibliography CSL_BIBLIOGRAPHY Andrés, G., Hernández, C., &

Rodríguez, E. V. (2016). Las Geotecnologías y los sistemas de apoyo para la planeación en el ordenamiento territorial Geotechnology and planning support systems in territorial ordering. *Investigación Científica y Tecnológica - Universidad Del Bosque*, 18.

Bekić, D., Halkijević, I., Gilja, G., Lončar, G., Carević, D., & Potočki, K. (2019). Examples of trends in water management systems under influence of modern technologies. *Gradjevinar*, 71(10), 833–842. <https://doi.org/10.14256/JCE.2728.2019>

Fatimah, Y. A., Govindan, K., Murniningsih, R., & Setiawan, A. (2020). Industry 4.0 based sustainable circular economy approach for smart waste management system to achieve sustainable development goals: A case study of Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, 269, 122263. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122263>

Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability.

Journal of Cleaner Production, 252, 119869. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869>

Ghobakhloo, M., Fathi, M., Iranmanesh, M., Maroufkhani, P., & Morales, M. E. (2021).

Industry 4.0 ten years on: A bibliometric and systematic review of concepts, sustainability value drivers, and success determinants. *Journal of Cleaner Production*, 302, 127052. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127052>

Hernandez, M., & Rivas, D. (2020). *Globalización, constitucionalismo y cultura de paz. Globalización, constitucionalismo y cultura de paz*. Retrieved from [https://www.academia.edu/42018121/Globalización constitucionalismo y cultura de paz](https://www.academia.edu/42018121/Globalización_constitucionalismo_y_cultura_de_paz)

Jordan, G., Carlos, R., & Jesus, C. (2017). Adquisición de señales ambientales para un sistema de alerta temprana.

Martínez, R., Palma, A., & Velásquez, A. (2020). Revolución tecnológica e inclusión social. *Naciones Unidas*, 233, 87.

Obade, V. de P., & Gaya, C. (2021). Digital technology dilemma: on unlocking the soil quality index conundrum. *Bioresources and Bioprocessing*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s40643-020-00359-x>

Oberascher, M., Kinzel, C., Kastlunger, U., Kleidorfer, M., Zingerle, C., Rauch, W., & Sitzenfrei, R. (2021). Integrated urban water management with micro storages developed as an IoT-based solution – The smart rain barrel. *Environmental Modelling and Software*, 139(March), 105028. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105028>

Perasso, V. (2016). Qué es la cuarta revolución industrial (y por qué debería preocuparnos). *BBC Mundo*, 1–13. Retrieved from https://www.bbc.com/mundo/noticias-37631834?ocid=socialflow_facebook

PGN. (2016). *Abc de los POT*. Procuraduría General de la Nación.

Singh, D., Dahiya, M., Kumar, R., & Nanda, C. (2021). Sensors and systems for air quality assessment monitoring and management : A review. *Journal of Environmental Management*, 289(April), 112510. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112510>

Singh, M., & Ahmed, S. (2020). IoT based smart water management systems: A systematic review. *Materials Today: Proceedings*, (xxxx). <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.588>

Song, W., Song, W., Gu, H., & Li, F. (2020). Progress in the remote sensing monitoring of the ecological environment in mining areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph17061846>

UCSD. (2017). Water quality management for redevelopment. Retrieved from <https://communityviz.city-explained.com/PDFs/planning/UCSDWaterModel.pdf>

Ustin, S. L., & Middleton, E. M. (2021). Current and near-term advances in Earth observation for ecological applications. *Ecological Processes*, 10(1), 1–57. <https://doi.org/10.1186/s13717-020-00255-4>

Viloria, wilmer Q. C. A. R. A. M. (2017). istema de informacion para deteccion de crecientes subitas en la cuenca del rio manzanares en Santa Marta, Colombia. *Informacion Tecnologica*, 28, 95–102.

Wang, B., Farooque, M., Zhong, R. Y., Zhang, A., & Liu, Y. (2021). Internet of Things (IoT)-Enabled accountability in source separation of household waste for a circular economy in China. *Journal of Cleaner Production*, 300. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126773>

Yadav, N., Garg, V. K., Chhillar, A. K., & Rana, J. S. (2021). Detection and Remediation of Pollutants to maintain Ecosustainability employing Nanotechnology: A Review. *Chemosphere*, 130792. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130792>

Chavarro, D., Vélez, M., Tovar, G., Montenegro, I., Hernández, A., & Olaya, A. (2017). Los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Colombia y el aporte de la ciencia, la tecnología y la innovación. *Colciencias - Documento de Trabajo*, 1(1), 1–30.

Chediack, S. E. (2009). *Monitoreo de biodiversidad y recursos naturales: ¿para qué? Conabio* (Vol. 3). Retrieved from http://www.oikos.unam.mx/LECT/images/Libros/mmrjrgj_2009.pdf

Cortes, A. A. (2020). Unidad Didáctica Como Estrategia De Aprendizaje Del Concepto De Ecología En Estudiantes De Básica Primaria Unidad Didáctica Como Estrategia De Aprendizaje Del Concepto De Ecología En Estudiantes De Básica Primaria.

Diego Fernando Lopez Moreno. (2020). Facultad de Jurisprudencia Trabajo Final de Maestría Las compras públicas sostenibles y su influencia en el Ordenamiento Territorial

Colombiano: Ciudades Sostenibles y Competitivas. *Universidad Del Rosario*. Retrieved from <https://ojo-publico.com/259/el-poder-economico-en-el-peru-esta-representado-por-12-empresas>

Domínguez, R., León, M., Samaniego, J., & Sunkel, O. (2019). *Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad*. *Cepal*. Retrieved from www.cepal.org/apps%0Ahttps://www.cepal.org/es/publicaciones/44785-recursos-naturales-medio-ambiente-sostenibilidad-70-anos-pensamiento-la-cepal

Escola, M., & Palma, M. J. (2019). La sostenibilidad en el Ecuador a través de un análisis multicriterio basado en entropía, *47(2)*, 17–26.

Fraijo Sing, B. S., Barrera Hernández, L. F., Tapia Fonllem, C. O., & Ortiz Valdez, A. (2018). Exploración del concepto naturaleza a partir de redes semánticas naturales en estudiantes de educación básica. *Diversitas*, *14(2)*, 233–242. <https://doi.org/10.15332/s1794-9998.2018.0014.03>

Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability.

Journal of Cleaner Production, *252*, 119869. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869>

Giraldo Gutiérrez, F. (2012). Technique and Technology: the Dilemma of the Rational

Subject in a Consumer Society. *Estudios de Filosofía*, *0(46)*, 25–39.

Giucci, G. (2020). La Larga Historia De La Cuarta Revolución Industrial. *Revista E- Scrita : Revista Do Curso de Letras Da UNIABEU*, *11(1)*, 266–280.

Hernandez, M., & Rivas, D. (2020). *Globalización, constitucionalismo y cultura de paz*. *Globalización, constitucionalismo y cultura de paz*. Retrieved from https://www.academia.edu/42018121/Globalización_constitucionalismo_y_cultura_de_paz

Juan, M. M. (2011). dossier Ciudades y contaminación ambiental. *Dossier*, 1–8.

Leff, E., Demaria, F., & Alisa, G. D. (2018). *Decrecimiento. Vocabulario para una nueva era*.

Monteforte, E. (2018). Las Bases Técnicas como expresión del desarrollo del conocimiento humano: medios de producción, materialidad del trabajo y formas de conciencia. *Ensayos de Economía*, 28(53), 127–150. <https://doi.org/10.15446/ede.v28n53.71884>

Pérez Zúñiga, R., Mercado Lozano, P., Martínez García, M., Mena Hernández, E., & Partida Ibarra, J. Á. (2018). La sociedad del conocimiento y la sociedad de la información como la piedra angular en la innovación tecnológica educativa / The Knowledge Society and the Information Society as the cornerstone in educational technology innovation. *RIDE Revista*

Iberoamericana Para La Investigación y El Desarrollo Educativo, 8(16), 847–870.
<https://doi.org/10.23913/ride.v8i16.371>

Porcelli, A. M., & Martínez, A. N. (2018). Análisis legislativo del paradigma de la economía circular. *Revista Direito GV*, 14(3), 1067–1105. <https://doi.org/10.1590/2317-6172201840>

Valencia, A., Suárez Castaño, Rodrigo; Sánchez, A., Cardozo, E., Bonilla, M., & Buitrago,

C. (2016). Gestión de la contaminación ambiental: cuestión de corresponsabilidad
Management of Environmental Pollution: a matter of co-responsibility, 90–99. Retrieved from
<http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n30/n30a12.pdf>

8. Anexos

8.1. Anexo 1: Búsquedas booleanas aplicadas.

A continuación se muestra las formulas Booleanas de búsqueda aplicadas en el proceso de recopilación de informacion bibliografica.

Data Analitics and Artificial intelligence y Recursos naturales

Busqueda Base 42596 Articulos en total para

TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

TECNOLOGIA EN Data analisys and Artificial intelligence

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND ("bid data" OR "data analysis" OR "artificial intelligence") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

+ conservation

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND (("bid data" OR "data analysis" OR "artificial intelligence")) AND ("conservation*") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish")) + conservacion

+restauracion

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND (("bid data" OR "data analysis" OR "artificial intelligence")) AND ("recovery*") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

+ monitoreo

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND (("bid data" OR "data analysis" OR "artificial intelligence")) AND ("conservation*") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish")) + conservacion

“...” AND (conservation)

TECNOLOGIA: CLOUD COMPUTING total de articulos

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND ("cloud* computing*") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

+ “Conservation”

(TITLE-ABS-KEY ("naturalresourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND (("cloud* computing*")) AND ("conservation") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

+ Monitoreo

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND (("cloud* computing*")) AND ("monitoring") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

+ restauracion

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND (("cloud* computing*")) AND ("recovery") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

TECNOLOGIA INTERNET OF THINGS total de articulos

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND ("internet of thing") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

+ Conservation

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND (("internet of thing")) AND ("conservation*") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA,"ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE,"ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE,"re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE,"English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE,"Spanish"))

+ Monitoreo

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND (("internet of thing")) AND ("monitoring*") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

+ Restauracion

TECNOLOGIA CYBER PHYSICAL SYSTEM

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND ("cyber physical system" OR "CPS") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

+ Conservation

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND (("cyber physical system" OR "CPS")) AND ("conservation*") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

+ Monitoreo

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND (("cyber physical system" OR "CPS")) AND ("monitoring*") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

+ Restauracion

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND (("cyber physical system" OR "CPS")) AND ("recovery*") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

TECNOLOGIA ROBOTICS

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND ("robot*") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

+ Conservation

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND (("robot*")) AND ("conservation*") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

+ Monitoreo

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND (("robot*")) AND ("monitoring*") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

+ Restauracion

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND (("robot*")) AND ("recovery*") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

TECNOLOGIA Agumented or virtual reality

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND ("augmented* reality" OR "virtual* reality") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

+ Conservation

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND (("augmented* reality" OR "virtual* reality")) AND ("conservation*") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

+ Monitoreo

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND (("augmented* reality" OR "virtual* reality")) AND ("monitoring*") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

+ Restauracion

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND (("augmented* reality" OR "virtual* reality")) AND ("recovery*") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA,"ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA,"BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE,"ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE,"re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE,"English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE,"Spanish"))

TECNOLOGIA Industrial sensor and controllers

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND ("sensor*" OR "controller*") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

+ Conservation

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND (("sensor*" OR "controller*")) AND ("conservation*") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

+ Monitoreo

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND (("sensor*" OR "controller*")) AND ("monitor*") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

+ Restauracion

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND (("sensor*" OR "controller*")) AND ("recovery*") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

TECNOLOGIA Automated Guided Vehicles (AGV) (drons)

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND ("drone" OR "UAV" OR "automated guided vehicle") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

+ Conservation

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND (("drone" OR "UAV" OR "automated guided vehicle")) AND ("conservation*") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

+ Monitoreo

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND (("drone" OR "UAV" OR "automated guided vehicle")) AND ("monitor*") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

+ Restauracion

TECNOLOGIA Blockchain

+ Conservation

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND (("blockchain")) AND ("conservation*") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

+ Monitoreo

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND (("blockchain")) AND ("monitor*") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

+ Restauracion

(TITLE-ABS-KEY ("natural resourc*") AND PUBYEAR > 2010) AND (("blockchain")) AND ("recover*") AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE , "Spanish"))

8.2. Anexo 2: Matriz Resultados de búsqueda inicial,

A continuación se muestra la tabla donde se muestran el numero de resultados arrojados por la base de datos *SCOPUS* luego de aplicar la búsqueda de cada uno de los términos de búsqueda definidos en el ANEXO 1

	<i>GESTION DE RECURSOS NATURALES (Agua, Suelo y Aire)</i>			<i>GESTION DE CONTAMINACION (Vertimientos, residuos y emisiones)</i>		
<i>TECNOLOGIAS 4RI</i>	conservacion	Monitoreo	Restauracion	Deteccion	Medicion	Tratamiento
cloud computing	70	137	19	4	5	1
Data Analitics and Artificial intelligence	2955	1742	707	436	240	201
Internet of things	75	76	80	101	64	38
Cyber physical System	346	211	80	4	2	0
Robotics	406	335	86	144	136	45
industrial sensors and controllers	1409	1561	380	1693	1020	460
Automated Guided Vehicles (AGV) (drons)	162	196	56	19	15	6

Anexo 3: Matriz de selección definitiva de artículos

A continuación, se muestra los artículos que fueron seleccionados para estudio en profundidad, y desde donde se saco gran parte de las referencias utilizadas y que cumplen con los criterios de selección

Artículo	Autor	año	Tecnología	Aplicado A recurso	Grupo	Resumen
Assessing the new Natural Resources Conservation Service water supply forecast model for the American West: A challenging test of explainable, automated, ensemble artificial intelligence	Sean W. Fleming	2020	Data Analytics and Artificial intelligence	agua	recursos naturales	Metasistema multimodal de machine learning es probado a través de 20 distintos escenarios
Harnessing Big Data to Support the Conservation and Rehabilitation of Mangrove Forests Globally	Thomas A. Worthington	<u>2021</u>	Data Analytics and Artificial intelligence	suelo coberturas	recursos naturales	Muestra un resumen de distintas bases de datos de información forestal
Unmanned aerial vehicle and artificial intelligence revolutionizing efficient and precision sustainable forest management	Tiedong Liu	2020	UAV - DRONES	suelo coberturas	recursos naturales	construcción de zonas de conservación a través del uso de imágenes aéreas y 3d printer y cálculo de biomasa
Applying machine learning approach in recycling	Erkinay Ozdemir, M., Ali, Z., Subeshan, B., Asmatulu, E.	2021	Data Analytics and Artificial intelligence	suelo residuos	recursos naturales	analizar el Uso de los algoritmos de inteligencia artificial en los sistemas de reciclaje, recopilatorio de desarrollos
Water, Soil and Air Pollutants' Interaction on Mangrove Ecosystem and Corresponding Artificial Intelligence Techniques Used in Decision Support Systems - A Review	Wong, W.Y., Al-Ani, A.K.I., Hasikin, K., (...), Mokhtar, M.I., Azizan, M.M.	2021	Data Analytics and Artificial intelligence	múltiple	recursos naturales	propuesta de desarrollo de un modelo para la toma de decisiones ambientales a partir de datos meteorológicos, clima, hidro, atmósfera, etc y su interacción para diseño de un esquema de reducción de contaminantes en manglares ecosistemas
A comprehensive review of deep learning applications in hydrology and water resources	Sit, M., Demiray, B.Z., Xiang, Z., (...), Sermet, Y., Demir, I	2021	Data Analytics and Artificial intelligence	agua	contaminación	recopilación de estudios que agrupan deep learning methods en el sector del agua y su uso en retos futuros del agua
A new artificial intelligence strategy for predicting the groundwater level over the Rafsanjan aquifer in Iran	Sharafati, A., Asadollah, S.B.H.S., Neshat, A.	2020	Data Analytics and Artificial intelligence	agua	Contaminación	Presenta una estrategia para predecir la variación mensual del nivel del agua subterránea utilizando el machine learning método llamado Gradient Boosting Regression

Expanding conservation culturomics and iEcology from terrestrial to aquatic realms	Jarić, I., Roll, U., Arlinghaus, R., (...), Wolter, C., Correia, R.A.	2020	Data Analytics and Artificial intelligence	suelo	Contaminacion	Se presentan 2 areas de estudio nuevas como Iecology y Culturomics los cuales se tratan de realizar estudios a apartir de los datos que se encuentran libre en la web
Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review	Amani, M., Ghorbanian, A., Ahmadi, S.A., (...), Wu, Q., Brisco, B.	2020	Data Analytics and Artificial intelligence	multiple	Contaminacion	muestra distintas aplicaciones del web service de google earth engine
A Global Perspective on Phosphorus Management Decision Support in Agriculture: Lessons Learned and Future Directions	Patrick J. Drohan, Marianne Bechmann, Anthony Buda, Far	2019	CPS	suelo	Contaminacion	El articulo muestra la aplicación de un DSS para el monitoreo para predecir la heterogeneidad de grandes areas a partir de imágenes satelitales relacionado con el fosforo del suelo
A Global Perspective on Phosphorus Management Decision Support in Agriculture: Lessons Learned and Future Directions	Patrick J. Drohan, Marianne Bechmann, Anthony Buda, Far	2019	Data Analytics and Artificial intelligence	suelo	Contaminacion	El articulo muestra la aplicación de un DSS para el monitoreo para predecir la heterogeneidad de grandes areas a partir de imágenes satelitales relacionado con el fosforo del suelo
Application of unmanned aerial vehicles in earth resources monitoring: Focus on evaluating potentials for forest monitoring in Ethiopia	Berie, H.T., Burud, I.	2018	UAV - DRONES	suelo coberturas	Recursos naturales	el articulo muestra la aplicación de uav para el monitoreo de bosques
A Suitable Tool for Sustainable Groundwater Management	Masciopinto, C., Vurro, M., Palmisano, V.N., Liso, I.S	2017	Data Analytics and Artificial intelligence	agua	Recursos naturales	se diseña un DSS a traves del uso de machine learning para para diseñar una planta de recarga artificial de acuiferos
Forecasting municipal solid waste generation using artificial intelligence modelling approaches	Abbasi, M., El Hanandeh, A.	2016	Data Analytics and Artificial intelligence	suelo residuos	Recursos naturales	se propone el diseño de un modelo a partir de machine learning para predecir la produccion de residuos solidos municipales.
Attribution of disturbance change agent from Landsat time-series in support of habitat monitoring in the Puget Sound region, USA	Kennedy, R.E., Yang, Z., Braaten, J., (...), Jordan, C., Nelson, P.	2015	Data Analytics and Artificial intelligence	suelo coberturas	Recursos naturales	
Assessing the new Natural Resources Conservation Service water supply forecast model for the American West: A challenging test of explainable, automated, ensemble artificial intelligence	Fleming, S.W., Garen, D.C., Goodbody, A.G., McCarthy, C.S., Landers, L.C.	2021	Data Analytics and Artificial intelligence	agua	recursos naturales	Uso del machine learning y la inteligencia artificial para realizar predicciones sobre la disponibilidad de agua para el USDA a traves de M4

Novel approach for predicting groundwater storage loss using machine learning	Kayhomayoon, Z., Arya Azar, N., Ghordoyee Milan, S., Kardan Moghaddam, H., Berndtsson, R.	2021	Data Analytics and Artificial intelligence	agua	recursos naturales	A traves del uso de inteligencia artificial y machine learning y el uso de datos de acuiferos se desarrolla un modelo para estimar la perdida del agua almacenada en acuiferos
An analytical approach for assessment of geographical variation in ecosystem service intensity in Punjab, Pakistan	Akhtar, M., Zhao, Y., Gao, G.	2021	Data Analytics and Artificial intelligence	suelo	recursos naturales	identificar variaciones geograficas en los servicios ecosistemicos usando el metodo de transferencia de beneficios y heterogeneidad espacial y niveles de thesil. Mostrando puntos criticos y suaves de servicios ecosistemicos
20 years of landscape dynamics within the world's largest multinational network of protected areas	Cheţan, M.A., Dornik, A.	2021	Data Analytics and Artificial intelligence	suelo	recursos naturales	Utilizacion de analisis de datos de sensores remotos y datos satelitales para establecer el estado de las coberturas, estructura del paisaje, y verdor de la vegetacion en parques naturales en un periodo de 20 años
Predicting 2,4-dinitroanisole (DNAN) sorption on various soil "types" using different compositional datasets	Chappell, M.A., Seiter, J.M., West, H.M., (...), Price, C.L., Middleton, M.A.	2019	Data Analytics and Artificial intelligence	suelo	recursos naturales	A traves de modelo de analisis de datos se realiza una predicciones ne los suelos que han sido afectados por la municion de explosivos llamados 2,4-dinitroanisole (DNAN), lo que permite predecir su comportamiento
Spatial-temporal variations of ecological vulnerability in the Tarim River Basin, Northwest China	Bai, J., Li, J., Bao, A., Chang, C.	2021	Data Analytics and Artificial intelligence	suelo	recursos naturales	A traves del analisis de datos se diseñaron unos indices de vulnerabilidad ecologica, mezclando informacion geograficaa con factores de evaluacion
Eco-engineering controls vegetation trends in southwest China karst	Zhang, X., Yue, Y., Tong, X., (...), Deng, C., Brandt, M.	2021	Data Analytics and Artificial intelligence	suelo	recursos naturales	A partir del procesamiento de datos estadisticos y geoespaciales se p
Analysis of the temporal changes of inland ramsar sites in turkey using google earth engine	Dervisoglu, A.	2021	cloud computing	agua	recursos naturales	Utilizando la herramienta GEE Cloud computing se evalua el cambio en la superficie de agua continental de los humedales ramsar del pais
A new framework to map fine resolution cropping intensity across the globe: Algorithm, validation, and implication	Liu, C., Zhang, Q., Tao, S., (...), Beyene, A.N., Elnashar, A.	2020	cloud computing	suelo	recursos naturales	Utilizacion de imagenes satelitales de alta precision para el diseño de un framework de calculo de densidad de cultivo a escala global a partir del google earth Engine cloud computing
A framework for knowledge discovery from wireless sensor networks in rural environments: A crop irrigation systems case study	González-Briones, A., Castellanos-Garzón, J.A., Mezquita Martín, Y., Prieto, J., Corchado, J.M.	2018	cloud computing	agua	recursos naturales	Diseño de un sistema multiagente para el analisis de informacion de sensores remotos en red para la toma de decisiones en ambientes rurales, aplicado a la optimizacion de un sistema de riego en entornos rurales

Assessing the role of climate and resource management on groundwater dependent ecosystem changes in arid environments with the Landsat archive	Huntington, J., McGwire, K., Morton, C., (...), Smith, G., Allen, R.	2016	cloud computing	agua	recursos naturales	Utilizacion de imágenes satelitales procesadas a partir del google earth engine cloud, para a partir del índice NDVI evaluar vigor de la vegetacion a partir de cambios en el clima, restauracion de zonas riparias y establecer el nivel del agua subterránea
Harnessing Indigenous Technologies for Sustainable Management of Land, Water, and Food Resources Amidst Climate Change	Imoro, Z.A., Imoro, A.Z., Duwiejuah, A.B., Abukari, A.	2021	internet of things	agua	recursos naturales	Adaptacion de tecnologías indígenas del territorio para la conservación del agua, particularmente aplicando nuevas tecnologías para el reacondicionamiento de las tradicionales
An IoT General-Purpose Sensor Board for Enabling Remote Aquatic Environmental Monitoring	Trevathan, J., Schmidtke, S., Read, W., Sharp, T., Sattar, A.	2021	internet of things	agua	recursos naturales	El artículo presenta el diseño de electrónica de IoT (Internet de las cosas) de código abierto para un entorno viable casi en tiempo real. medidas, específicamente adaptadas a los rigores de los entornos acuáticos. El sistema proporciona la funcionalidad mínima requerida para lecturas confiables de sensores remotos con un enfoque en baja energía
Thermally oxidized steel mesh for oil-water separation application and its automation device	Budiman, F., Ismardi, A., Muhammad, R., (...), Ismail, S., Lockman, Z.	2021	internet of things	agua	contaminacion	Equipo automático de separación de aceite y agua basado en óxido de hierro jerárquico nanoestructurado cultivado sobre malla de acero por método de oxidación térmica, y automatizado a través de sensores que utilizan dispositivos de IoT como sensores. microcontroladores, y actuadores a través de conexión WiFi, y permite la optimización en tiempo real y la conexión a través de el celular
Real-Time Slope Monitoring System and Risk Communication among Various Parties: Case Study for a Large-Scale Slope in Shenzhen, China	Li, N., Zhang, Y., Huang, L.	2021	internet of things	suelo	recursos naturales	Sistema de monitoreo de pendientes en tiempo real basado en Internet de las cosas (IoT), que consta de una capa de detección, una capa de adquisición de datos, una capa de computación en la nube y una capa de cliente. El sistema de monitoreo de taludes se implementó en un talud a gran escala en Shenzhen, China
Current advances and future challenges of AIoT applications in particulate matters (PM) monitoring and control	Yang, C.-T., Chen, H.-W., Chang, E.-J., (...), Nguyen, K.L.P., Chang, J.-S.	2021	internet of things	aire	recursos naturales	muestra los sistemas basados en IoT con microsensores de bajo costo a nivel de sensor, red y aplicación, junto con algoritmos de aprendizaje automático que mejoran la precisión de las redes de sensores, proporcionando una mejor resolución.
Improved water resource management framework for water sustainability and security	Ahmed, S.S., Bali, R., Khan, H., Mohamed, H.I., Sharma, S.K.	2021	Data Analytics and Artificial intelligence	agua	recursos naturales	Sistema de Monitoreo de Distribución y Gestión de Recursos Hídricos habilitado para IoT (IWRM-DMS) establece la demanda rural de agua y el agua sistema de suministro para minimizar la demanda de agua, La inteligencia artificial ha sido diseñado para la predicción de la demanda en el sistema de soporte de decisiones
Analysis of water quality indices and machine learning techniques for rating water pollution: A case study of Rawal Dam, Pakistan	Ahmed, M., Mumtaz, R., Zaidi, S.M.H.	2021	Data Analytics and Artificial intelligence	agua	recursos naturales	El presente estudio calculó cinco WQI para dos períodos temporales: (i) junio a diciembre de 2019 obtenidos en tiempo real (utilizando los nodos de Internet de las cosas (IoT)) en los arroyos de entrada y salida de la presa Rawal; (ii) 2012-2019 obtenido de la planta de filtración de agua de la presa Rawal, recolectado a través de muestreo aleatorio basado en SIG.

Urban air pollution diffusion status and sports training physical fitness measurement based on the Internet of things system	Chang, G.	2021	internet of things	aire	recursos naturales	este proyecto propone combinar estas dos tecnologías para construir un conjunto de sistema de monitoreo de la calidad de la difusión de la contaminación del aire basado en la tecnología de Internet de las cosas. Este documento también utiliza un método CFD para estudiar el número y la distribución de la contaminación de las turbinas eólicas en la ciudad.
Sensors and systems for air quality assessment monitoring and management	Singh, D., Dahiya, M., Kumar, R., Nanda, C.	2021	varios	aire	recursos naturales	La revisión actual presenta detalles sobre sensores / sistemas disponibles para evaluación, monitoreo y manejo de AQ. Primero, revisamos la literatura publicada basada en palabras clave especiales que incluyen AQM, Particulate Matter (PM), Mono-óxido de carbono (CO), Di-óxido de azufre (SO ₂) y Di-óxido de nitrógeno (NO ₂), entre otros, y identificó el escenario actual de investigación en la gestión de AQ
Design and deployment of an IoT-based air quality monitoring system	Truong, T.P., Nguyen, D.T., Truong, P.V.	2021	internet of things	aire	recursos naturales	un sistema de monitoreo de la calidad del aire basado en IoT, (EnMoS). La tecnología de comunicación inalámbrica LoRa (de largo alcance) y los sensores de innovación que se utilizan tienen como objetivo facilitar el desarrollo de la red de comunicación de datos en un área grande, mejorando la confiabilidad de la detección, extendiendo la vida útil de la batería y reduciendo los costos totales del sistema.
Development of smart boulders to monitor mass movements via the Internet of Things: A pilot study in Nepal	Dini, B., Bennett, G.L., Franco, A.M.A., (...), Senn, A., Reynolds, J.M.	2021	internet of things	suelo	recursos naturales	sistema de monitoreo innovador para observar el movimiento de rocas que ocurren en diferentes entornos geomorfológicos antes de llegar al sistema fluvial. Incorporamos rastreadores en 23 rocas esparcidas entre un cuerpo de deslizamiento de tierra y dos canales de flujo de escombros antes del temporada de monzones de 2019. Los rastreadores, equipados con acelerómetros, pueden detectar pequeños cambios angulares en el orientación de los cantos rodados y grandes fuerzas que actúan sobre ellos. Los datos se pueden transmitir en tiempo real a través de un red de área amplia (LoRaWAN®)
Sensors for indoor air quality monitoring and assessment through Internet of Things: a systematic review	Saini, J., Dutta, M., Marques, G.	2021		aire	recursos naturales	La principal contribución de esta revisión sistemática es presentar una evaluación cualitativa y cuantitativa de sensores de bajo costo al tiempo que proporciona una visión profunda de los criterios de selección para un seguimiento adecuado.
Evaluation of land suitability methods with reference to neglected and underutilised crop species: A scoping review	Mugiyo, H., Chimonyo, V.G.P., Sibanda, M., (...), Modi, A.T., Mabhaudhi, T.	2021		suelo	recursos naturales	revisión de alcance para evaluar estrategias metodológicas para LSA. y cuál de estos sería adecuado para especies de cultivos desatendidas y subutilizadas (NUS). La revisión clasificó los métodos LSA informados en los artículos como Enfoques modernos, incluidos métodos de toma de decisiones de criterios múltiples (MCDM) como el proceso de jerarquía analítica (AHP) (14,9%) y métodos difusos (12,9%); Los modelos de simulación de cultivos (9,9%) y los métodos relacionados con el aprendizaje automático (25,7%)

Urban water-energy-food-climate nexus in integrated wastewater and reuse systems: Cyber-physical framework and innovations	Radini, S., Marinelli, E., Akyol, Ç., (...), Katsou, E., Fatone, F.	2021	cps	agua	contaminacion	analizamos en profundidad y resumimos las herramientas de modelado y los datos que se utilizan actualmente para cuantificar el nexo en el tratamiento de aguas residuales
Securing Industrial Cyber-Physical Systems: A Run-Time Multilayer Monitoring	Khan, M.T., Tomic, I.	2021	cps	agua	recursos naturales	Los sistemas ciberfísicos industriales (ICPS) se implementan ampliamente en el monitoreo y control de los procesos industriales críticos de la nación, como las redes de distribución de agua y las redes eléctricas. Demostramos la efectividad del enfoque a través de un ejemplo del ICPS utilizado para el control y monitoreo de una red de distribución de agua
SCrop: A Novel Device for Sustainable Automatic Disease Prediction, Crop Selection, and Irrigation in Internet-of-Agro-Things for Smart Agriculture	Udotalapally, V., Mohanty, S.P., Pallagani, V., Khandelwal, V.	2021	cps	suelo	recursos naturales	Este artículo presenta la idea innovadora de Internet-of-Agro-Things (IoAT) con una explicación de la detección automática de enfermedades de las plantas para el desarrollo de ACPS. Se logra una precisión del 99,24% mediante el marco de predicción de enfermedades de las plantas propuesto.
A Hardware-in-the-Loop Water Distribution Testbed Dataset for Cyber-Physical Security Testing	Faramondi, L., Flammini, F., Guarino, S., Setola, R.	2021	cps	agua	recursos naturales	Este artículo presenta un conjunto de datos para apoyar a los investigadores en el proceso de validación de soluciones como los Sistemas de Detección de Intrusiones (IDS) basados en inteligencia artificial y técnicas de aprendizaje automático para la detección y categorización de amenazas en Sistemas Ciberfísicos (CPS). Con este fin, se adquirieron datos de un banco de pruebas de distribución de agua (WDT) de hardware en el circuito que emula el flujo de agua entre ocho tanques a través de válvulas solenoides, bombas, sensores de presión y flujo.
Cyber-physical systems for water supply network management: Basics, challenges, and roadmap	Adedeji, K.B., Hamam, Y.	2020	cps	agua	recursos naturales	presentamos el concepto de CPS en el contexto del sistema de agua e investigamos las aplicaciones de CPS para el monitoreo del sistema de suministro de agua. Además, se describen las diversas aplicaciones de los CPS y los requisitos del dominio de aplicación
Cyber-Physical Stress-Testing Platform for Water Distribution Networks	Nikolopoulos, D., Moraitis, G., Bouziotas, D., (...), Karavokiros, G., Makropoulos, C.	2020	cps	agua	recursos naturales	En este trabajo se presenta una plataforma de pruebas de estrés ciberfísico, denominada RISKNOUGHT, que es capaz de modelar redes de distribución de agua como sistemas ciberfísicos, simulando el flujo de información de la capa cibernética y las interacciones de retroalimentación con los procesos físicos bajo control.
Water quality prediction method based on preferred classification	Sheng, L., Zhou, J., Li, X., Pan, Y., Liu, L.	2020	cps	agua	recursos naturales	se propone un nuevo método de predicción de la calidad del agua basado en la clasificación preferida. Se establece un clasificador preferido para integrar la red neuronal de retropropagación, las máquinas de vectores de soporte para la regresión y la memoria a corto plazo debido al hecho de que estos tres modelos de predicción pueden tener en cuenta las diferentes características de los datos de calidad del agua. Cuando se ingresan nuevos datos, el método propuesto selecciona preferentemente el modelo de predicción que es más adecuado para los datos y luego utiliza el modelo seleccionado para la predicción.
Real-time control of urban water cycle under cyber-physical systems framework	Sun, C., Puig, V., Cembrano, G.	2020	cps	agua	recursos naturales	este documento propone un marco de gestión basado en CPS que permite la supervisión, la interoperabilidad de subsistemas y la optimización integrada de UWC:

Internet of things and enhanced living environments: Measuring and mapping air quality using cyber-physical systems and mobile computing technologies	Marques, G., Miranda, N., Bhoi, A.K., (...), Hamrioui, S., Díez, I.L.T.	2020	CPS	aire	recursos naturales	Este documento presenta un sistema de monitoreo de la calidad del aire en tiempo real basado en Internet of Things. El método propuesto permite medir y mapear los niveles de calidad del aire considerando la información espacio-temporal. Este sistema incorpora un sistema ciberfísico para la recopilación de datos y un software de computación móvil para la consulta de datos. Además, este método proporciona una solución rentable y eficiente para la supervisión de la calidad del aire y se puede instalar en vehículos para monitorear la calidad del aire mientras se viaja
A comprehensive review on indoor air quality monitoring systems for enhanced public health	Saini, J., Dutta, M., Marques, G.	2020	CPS	aire	recursos naturales	La idea principal es discutir el uso de tecnologías inalámbricas para el desarrollo de sistemas ciberfísicos para monitoreo en tiempo real. Además, proporciona una revisión crítica de los microcontroladores utilizados para el diseño de sistemas y los desafíos en el desarrollo de sistemas de monitoreo en tiempo real.
Design and Review of Water Management System Using Ethernet, Wi-Fi 802.11n, Modbus, and Other Communication Standards	Pandey, B., Farulla, G.A., Indaco, M., Iovino, L., Prinetto, P.	2019	cps	agua	recursos naturales	Los sensores, actuadores y controladores se comunican entre sí en nuestro sistema ciberfísico de gestión del agua (WM-CPS)
Cyber physical system perspective for smart water management in a campus	Abhishek, M.B., Shet, N.S.V.	2019	cps	agua	recursos naturales	En este documento, se proponen los temas clave de las partes de monitoreo / detección, redes y computación que se presentan para una solución implementable. El monitoreo y la creación de redes que involucran la detección apropiada y la transmisión de datos para monitorear el flujo de agua en los tanques de almacenamiento en el Instituto Nacional de Tecnología, Surathkal, Karnataka, India, se elaboran en una etapa madura.
A UAV Platform Based on a Hyperspectral Sensor for Image Capturing and On-Board Processing	Horstrand, P., Guerra, R., Rodriguez, A., (...), Lopez, S., Lopez, J.F.	2019	cps	suelo	recursos naturales	En este artículo, se presenta una plataforma de vuelo hiperspectral y la construcción del conjunto se detalla el sistema. La solución propuesta se basa en un dron comercial DJI Matrice 600 y un Specim Cámara hiperspectral FX10. Además, permitir el procesamiento a bordo, como la evaluación de diferentes índices de vegetación (el índice de vegetación de diferencia normalizada, NDVI, el índice de relación de absorción de clorofila modificada, MCARI, y el índice de vegetación modificado ajustado al suelo, MSAVI),
Performance evaluation of energy-autonomous sensors using power-harvesting beacons for environmental monitoring in internet of things (IoT)	Dan Moiş, G., Sanislav, T., Folea, S.C., Zeadally, S.	2018	cps	aire	recursos naturales	Investigamos la eficiencia energética de un sistema de monitoreo ambiental basado en Balizas de Bluetooth de baja energía (BLE) que operan en el entorno de IoT. Las balizas se desarrollaron medir la temperatura, la humedad relativa, la intensidad de la luz y los niveles de CO2 y VOC en El aire

Towards a cyber-physical era: Soft computing framework based multi-sensor array for water quality monitoring	Bhardwaj, J., Gupta, K.K., Gupta, R.	2018	cps	agua	recursos naturales	ste documento presenta un enfoque de sistema ciberfísico (CPS) para la evaluación de la calidad del agua en un red de distribución. Se pueden diseñar sistemas ciberfísicos con sensores, procesadores y actuadores integrados sentir e interactuar con el medio acuático. El CPS propuesto se compone de un marco de detección integrado con cinco nodos sensores de parámetros de calidad del agua diferentes y un marco de computación suave para computación modelado
Cyber-physical systems for water sustainability: Challenges and opportunities	Wang, Z., Song, H., Watkins, D.W., (...), Yang, Q., Shi, X.	2015	cps	agua	recursos naturales	Este artículo proporciona una descripción general de la CPS del agua para la sostenibilidad desde cuatro aspectos críticos: detección e instrumentación; comunicaciones y trabajo en red; informática; y control. El artículo también explora oportunidades y desafíos de diseño de técnicas relevantes.
Impact of industry 4.0 on environmental sustainability	Oláh, J., Aburumman, N., Popp, J., (...), Haddad, H., Kitukutha, N.	2020	CPS			
Water and Wastewater Building CPS: Creation of Cyber-Physical Wastewater Collection System Centered on Urine Diversion	Saetta, D., Padda, A., Li, X., (...), Boscovic, D., Boyer, T.H.	2019	CPS	agua	recursos naturales	Esta investigación buscó crear un sistema ciberfísico para la recolección y el tratamiento de aguas residuales. Se integraron dos subsistemas en el CPS: detección y actuación. Se utilizó la detección en tiempo real utilizando sensores de conductividad y pH de bajo costo para monitorear la química de la orina. L
Cyber-physical systems for water sustainability: Challenges and opportunities	Wang, Z., Song, H., Watkins, D.W., (...), Yang, Q., Shi, X.	2015	CPS	agua	recursos naturales	Este artículo proporciona una descripción general de la CPS del agua para la sostenibilidad desde cuatro aspectos críticos: detección e instrumentación; comunicaciones y trabajo en red; informática; y control. El artículo también explora oportunidades y desafíos de diseño de técnicas relevantes.
Kriging-based robotic exploration for soil moisture mapping using a cosmic-ray sensor	Pulido Fentanes, J., Badiee, A., Duckett, T., (...), Pearson, S., Cielniak, G.	2020	robotic	suelo	recursos naturales	proponemos utilizar un robot móvil autónomo equipado con un sensor de humedad del suelo sin contacto de última generación que construye mapas de humedad sobre la marcha y selecciona automáticamente las ubicaciones de muestreo más óptimas. Introducimos una estrategia de exploración autónoma impulsada por la calidad del modelo de humedad del suelo que indica las áreas del campo donde la información es menos precisa.
Towards a real-time embedded system for water monitoring installed in a robotic sailboat	Da Silva Junior, A.G., De Lima Sa, S.T., Dos Santos, D.H., (...), Álvarez Jácobo, J.E., Garcia Gonçalves, L.M.	2016	robotic	agua	recursos naturales	arquitectura de sensores instalados en una plataforma robótica, un velero autónomo, capaz de adquirir datos brutos relativos a la calidad del agua, para procesarlos y ponerlos a disposición de las personas que pudieran estar interesadas en tales información. Las principales aportaciones son la propia arquitectura de sensores, que utiliza sensores de bajo coste, con experimentación práctica realizada con un prototip
An inexpensive robotic gantry to screen and control soil moisture for plant experiments	Takara, G., Zachary Trimble, A., Arata, R., (...), Jaime Gonzalez, H., Mora, C.	2021	robotic	suelo	recursos naturales	El control del contenido de agua en el suelo es una operación recurrente y laboriosa en casi cualquier experimento sobre fisiología vegetal. Aquí describimos un pórtico robótico para medir y controlar la humedad del suelo en macetas que es modular, económico, fácil de construir, preciso, preciso y confiable.

A 3D integrated neuromorphic chemical sensing system	Bao, C., Seol, S.K., Kim, W.S.	2021	robotic	suelo	recursos naturales	mediante el sistema neuromórfico 3D integrado con receptores sensoriales artificiales, neuronas artificiales y sinapsis artificiales para su aplicación en la detección de bajas concentraciones de nutrientes del suelo en granjas inteligentes.
Satellite- and drone-based remote sensing of crops and soils for smart farming—a review	Inoue, Y.	2020	robotic	suelo	recursos naturales	La teledetección basada en drones permitiría observaciones flexibles, de alta resolución y de bajo costo de cultivos y suelos. Se puede crear información de diagnóstico sobre el crecimiento de los cultivos, el estrés hídrico, la fertilidad del suelo, las malezas, las enfermedades, el alojamiento y la topografía 3D a partir de las imágenes ópticas, térmicas y / o de video. El vínculo entre la función de teledetección y la aplicación de semillas, pesticidas y fertilizantes basada en drones mejoraría enormemente la eficiencia de la mano de obra y las aplicaciones de materiales y la rentabilidad
Rapid In Situ Characterization of Soil Erodibility With a Field Deployable Robot	Park, S.-S., Doan, N.-P., Woo, S.-W., Lee, J.-S.	2019	robotic	suelo	recursos naturales	uí demostramos el potencial de ensamblar rápidamente mapas empíricos de erosionabilidad mientras también examinamos qué lo controla, utilizando una nueva prueba de "arado" de resistencia al corte de la superficie del suelo (τ) realizada por un robot semiautónomo
Image detection of mountain soil loss and human avoidance trajectory based on cloud computing and machine learning	Lei, X.	2021	robotic	suelo	recursos naturales	es diseñar un sistema de detección de imágenes de la trayectoria del cuerpo humano relacionado para un nuevo procesamiento de imágenes faciales humanas basado en el aprendizaje automático y un sistema de gestión de detección y recopilación de información, y realizar una investigación en profundidad sobre sus perspectivas de aplicación en el estudio de la erosión del suelo
A low-cost monitor for simultaneous measurement of fine particulate matter and aerosol optical depth - Part 3: Automation and design improvements	Wendt, E.A., Quinn, C., L'Prange, C., (...), Long, M., Volckens, J.	2021	robotic	aire	contaminacion	escribieron el desarrollo y validación de un dispositivo de primera generación para la medición de bajo costo de AOD y PM2.5: el muestreador de masa de aerosol y profundidad óptica (AMODv1). Ford y col. (2019) describen una implementación de campo de ciencia ciudadana del dispositivo AMODv1. En este documento, presentamos una versión actualizada de AMOD, conocida como AMODv2, que presenta mejoras de diseño y validación extendida para abordar las limitaciones del trabajo de AMODv1. El AMODv2 mide AOD y PM2.5 en intervalos de tiempo de 20 minutos.
Spatiotemporal changes in aerosol properties by hygroscopic growth and impacts on radiative forcing and heating rates during DISCOVER-AQ 2011	Perez-Ramirez, D., Whiteman, D.N., Veselovskii, I., (...), Sanchez-Hernandez, G., Navas-Guzman, F.		Otros			
Validation of FY-3D MERSI-2 precipitable water vapor (PWV) datasets using ground-based PWV data from AERONET	Xie, Y., Li, Z., Hou, W., (...), Wang, S., Yang, D.		Otros			

Long-term variation assessment of aerosol load and dominant types over asia for air quality studies using multi-sources aerosol datasets	Huang, C., Li, J., Sun, W., (...), Mao, Q.-J., Yuan, Y.	2021	robotic	aire	contaminacion	Este estudio utiliza conjuntos de datos de aerosoles de múltiples fuentes, incluido el análisis retrospectivo de la era moderna para investigación y aplicaciones versión 2 (MERRA-2), el espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada (MODIS) y la red robótica de aerosoles (AERONET), para realizar una variación a largo plazo evaluación de la carga de aerosoles, alta frecuencia de cargas de aerosoles y tipos de aerosoles dominantes en Asia
Review of urban computing in air quality management as smart city service: An integrated IoT, AI, and cloud technology perspective	Kaginalkar, A., Kumar, S., Gargava, P., Niyogi, D.	2021	Data Analytics and Artificial intelligence	aire	contaminacion	El documento proporciona una perspectiva con respecto a la oportunidad disponible para abordar los problemas de gestión de la calidad del aire urbano (UAQM) utilizando el marco de la ciudad inteligente en el contexto de la "informática urbana". Tradicionalmente, UAQM se ha basado en un escaso monitoreo regulatorio, mejorado con datos satelitales y modelos de pronóstico. Las tecnologías de la "Cuarta Revolución Industrial" (4IR), como Internet de las cosas (IoT), big data, inteligencia artificial, teléfonos inteligentes, redes sociales y computación en la nube, están remodelando los conglomerados urbanos en todo el mundo.
Satellite and UAV-based remote sensing for assessing the flooding risk from Tibetan lake expansion and optimizing the village relocation site	Cheng, J., Song, C., Liu, K., (...), Zhan, P., Yao, J.	2022	UAV - DRONES	agua	recursos naturales	el riesgo de inundación del crecimiento del lago en el entorno de vida local y propusimos una solución optimizada de selección de reubicación de la aldea sobre la base de la teledetección satelital y de vehículos aéreos no tripulados (UAV). Los resultados indicaron que UAV-DEM logra excelentes ventajas en la representación de detalles de las variaciones de la costa del lago y la simulación de posibles regiones de inmersión
Vertical profiling of black carbon and ozone using a multicopter unmanned aerial vehicle (UAV) in urban Shenzhen of South China	Wu, C., Liu, B., Wu, D., (...), Zhou, Z., Li, Y.J.	2021	UAV - DRONES	aire	recursos naturales	se realizó el perfilado vertical (0-500 my 0-900 m, AGL) de BC y O3 en un área altamente urbanizada de Shenzhen en el sur de China subtropical utilizando una plataforma de vehículos aéreos no tripulados (UAV) multicoptero de carbono negro y ozono
Evaluating the persistence of post-wildfire ash: A multi-platform spatiotemporal analysis	Lewis, S.A., Robichaud, P.R., Hudak, A.T., (...), Eitel, J.U.H., Brown, R.E.	2021	UAV - DRONES	suelo	recursos naturales	determinar el método operativo más "rentable" para mapear la cobertura de cenizas después de un incendio forestal en términos de costos financieros, de volumen de datos, de tiempo y de procesamiento. Las mediciones de campo se combinaron con imágenes aéreas y satelitales multiplataforma recopiladas durante el mismo período de tiempo. Los tipos de imágenes abarcaron la resolución espacial de 30 ma sub-metro (Landsat-8, Sentinel-2, WorldView-2 y un dron),
Assessing a novel modelling approach with high resolution UAV imagery for monitoring health status in priority riparian forests	Guerra-Hernández, J., Díaz-Varela, R.A., Ávarez-González, J.G., Rodríguez-González, P.M.	2021	UAV - DRONES	suelo	recursos naturales	Los datos obtenidos en este estudio, la disminución de A. glutinosa se evaluó considerando cuatro categorías de estado de salud de los árboles en el campo: asintomático, muerto y defoliación por encima y por debajo del umbral del 50%. Se analizaron datos de una combinación de Parrot Sequoia multispectral y vehículos aéreos no tripulados UAV, rojo, verde, azul (RGB), utilizando métodos de modelado logístico (RF) clásico y aleatorio, para identificar los indicadores de salud forestal más importantes y cumplir con el principio de parsimonia

Rapid lake Michigan shoreline changes revealed by UAV LiDAR surveys	Troy, C.D., Cheng, Y.-T., Lin, Y.-C., Habib, A.	2021	UAV - DRONES	agua	recursos naturales	Los niveles de agua de los Grandes Lagos Laurentianos que batieron récords recientes han provocado una erosión severa a lo largo de muchas costas. En este artículo, mediciones novedosas de la costa de la erosión del lago Michigan, utilizando un vehículo aéreo no tripulado (UAV) equipado con LiDAR. El vehículo inspeccionó dos playas, Dune Acres y Beverly Shores, a lo largo de la costa de Indiana en el sur del lago Michigan durante el período 2018-2019, que se comparan con las encuestas LiDAR basadas en aviones existentes.
Vertical distribution characteristics of particulate matter beside an elevated expressway by unmanned aerial vehicle measurements	Liu, X., Shi, X.-Q., He, H.-D., Li, X.-B., Peng, Z.-R.	2021	UAV - DRONES	aire	recursos naturales	los patrones de distribución vertical de la concentración de PM no se han reconocido claramente debido a los métodos de medición limitados. Por lo tanto, las mediciones de vehículos aéreos no tripulados (UAV) se llevan a cabo en tres sitios típicos cerca de una autopista elevada para investigar los efectos de la barrera de ruido, la vegetación y la construcción en los patrones de distribución vertical de PM
IoT based car pollution detection using cloud computing	Perumal T.b	2021	cloud computing	aire	contaminacion	desarrollo de un sistema que utiliza un sensor de monóxido de carbono (MQ-7) y un microcontrolador Arduino Uno, que detecta la emisión de gases del escape del automóvil. Internet jugará un papel importante en la comunicación de cosas físicas. Los objetos físicos se pueden potenciar a través de la electrónica incorporada en ellos, para hacerlos inteligentes y, al mismo tiempo, IoT brinda la conexión entre estos objetos para brindar una alta calidad de vida a las personas. Los componentes de hardware y software funcionan de manera cooperativa para construir el IoT. Esta tecnología se utiliza en el desarrollo de un sistema de detección de contaminación del aire
Community-Friendly and Cost-Effective Monitoring Device for Environmental Pollution Using IoT	Balarengadurai C	2020	cloud computing	aire	contaminacion	En este artículo se presenta un sistema autónomo de control de la calidad del aire con muchos parámetros en funcionamiento en tiempo real: CO2, temperatura, humedad, calidad del aire PM 2.5 y monóxido de carbono. En realidad, en todos los sectores, la Internet de las cosas se usa comúnmente y también es un factor clave en la gestión de la calidad del aire. Internet of Things Cloud Computing es una nueva forma de mejorar el procesamiento de datos de múltiples sensores obtenidos y transmitidos por la minicomputadora Raspberry pi ARM de bajo costo
Review of urban computing in air quality management as smart city service: An integrated IoT, AI, and cloud technology perspective		2020	cloud computing	aire	contaminacion	Revisión bibliográfica sobre la gestión de la calidad del aire en el concepto de Smart cities, utilizando Iot, inteligencia artificial y cloud computing
Construction of Ecological Environment Information System Based on Big Data: A Case Study on Dongting Lake Ecological Area	Wan D	2021	big data	varias	contaminacion	Tomando como ejemplo el área ecológica del lago Dongting, este documento construye un sistema de información ambiental ecológico basado en big data y expone su aplicación específica en agua, atmósfera, monitoreo del ambiente del suelo y control de la contaminación, con el objetivo de proporcionar una referencia para la aplicación de big data

Design and analysis of a water quality monitoring data service platform	Zhang, J., Sheng, Y., Chen, W., (...), Sun, G., Guo, P.	2021	big data	agua	contaminacion	Para satisfacer estas necesidades, mediante el uso de Internet de las cosas, computación en la nube y tecnologías de big data, diseñamos e implementamos una plataforma de servicio inteligente de datos de monitoreo de la calidad del agua en lenguaje C # y PHP. La plataforma incluye la adición de puntos de monitoreo, el etiquetado de mapas de puntos de monitoreo, la carga de datos de monitoreo, el procesamiento de datos de monitoreo, la alerta temprana de exceder el estándar de indicadores de monitoreo y otros módulos de funciones. Con esta plataforma, podemos realizar la recopilación automática de datos de monitoreo de la calidad del agua, limpieza de datos, análisis de datos, alerta temprana inteligente y envío de información de alerta temprana, y otras funciones. Para mayor seguridad y conveniencia, implementamos el sistema en Tencent Cloud y lo probamos. Los resultados de las pruebas mostraron que la plataforma de análisis de datos podría funcionar bien y brindará apoyo a la toma de decisiones para la protección de los recursos hídricos.
A novel transversal processing model to build environmental big data services in the cloud	Armando Barron-Lugo, J., Gonzalez-Compean, J.L., Carretero, J., Lopez-Arevalo, I., Montella, R.	2021	big data	aire	contaminacion	Se desarrolló un prototipo para realizar estudios de casos basados en la clasificación climática de datos, productos de observación de la tierra y hacer predicciones de la contaminación de los datos del aire mediante la fusión de diferentes fuentes de datos climáticos de monitoreo
Exposure assessment of PM2.5 using smart spatial interpolation on regulatory air quality stations with clustering of densely-deployed microsensors	Chen, P.-C., Lin, Y.-T.	2022	big data	aire	contaminacion	este estudio utiliza datos de microsensores de bajo costo densamente desplegados en Taiwán para mejorar el popular enfoque de interpolación espacial llamado ponderación de distancia inversa (IDW). Un gran conjunto de datos de miles de sensores de bajo costo podría mejorar la interpolación espacial al describir la distribución de PM2.5 en detalle. Por lo tanto, este estudio presenta un método basado en clustering para evaluar la distribución de PM2.5. Luego, se realiza un IDW más inteligente basado en observaciones correlacionadas de las estaciones de calidad del aire seleccionadas. Los datos disponibles públicamente elegidos para esta investigación pertenecían a Taiwán, que ha implementado 74 estaciones de monitoreo y más de 11,000 sensores de bajo costo desde diciembre de 2020.
A review of the inter-correlation of climate change, air pollution and urban sustainability using novel machine learning algorithms and spatial information science	Balogun, A.-L., Tella, A., Baloo, L., Adebisi, N.	2021	big data	aire		
A hand-held optoelectronic tongue for the identification of heavy-metal ions	Pan, Y., Liu, X., Qian, L., (...), Wang, P., Wang, D.	2022	internet of things	agua	contaminacion	desarrollamos una plataforma de análisis portátil y rentable integrada en un teléfono inteligente que permite la identificación rápida de la contaminación por iones de metales pesados causada por la descarga de aguas residuales industriales. Esta plataforma portátil integra una matriz de sensores colorimétricos que consta de nanocolorantes plasmónicos y cromóforos orgánicos para detectar iones de metales pesados típicos al nivel de ppm en 15 s.

<p>Idc sensor for low-cost water quality monitoring applications* [Sensor idc para aplicaciones de bajo costo para el monitoreo de la calidad del agua]</p>	<p>Mendez, D., Pérez, M., Farfan, A., Gerlein, E.</p>	<p>2022</p>	<p>internet of things</p>	<p>agua</p>	<p>contaminacion</p>	<p>Este documento presenta el proceso de diseño e implementación de una solución basada en IoT para aplicaciones de monitoreo de la calidad del agua escalables y de bajo costo. Para lograr ese fin, proponemos la utilización de un sensor de capacitancia interdigital (IDC) de bajo costo para caracterizar la conductividad del agua, un parámetro muy revelador sobre el nivel de contaminación en el agua. Adicionalmente,</p>
<p>Designing a Monitoring and Prediction System of Water Quality Pollution Using Artificial Neural Networks for Freshwater Fish Cultivation in Reservoirs</p>	<p>Irvan, R.R.M., Abdurohman, M., Putrada, A.G.</p>	<p>2022</p>	<p>internet of things</p>	<p>agua</p>	<p>contaminacion</p>	<p>En este estudio se propone un sistema basado en Internet de las cosas (IoT) para predecir la contaminación del agua en los embalses y poder monitorizar los cambios en los valores de calidad del agua. Los datos de calidad del agua se obtienen de varios sensores y microcontroladores. Los datos se envían a la plataforma IoT de Thingspeak y se utilizan para entrenar un modelo de red neuronal artificial (ANN) que se utiliza para predecir la contaminación del agua dulce en el depósito. Los resultados de los datos enviados se muestran en Thingspeak</p>
<p>Designing a Monitoring and Prediction System of Water Quality Pollution Using Artificial Neural Networks for Freshwater Fish Cultivation in Reservoirs</p>	<p>Maman Abdurohman</p>	<p>2021</p>	<p>internet of things</p>	<p>aire</p>	<p>contaminacion</p>	<p>Por ello, se desarrolló la idea de la tecnología de Internet y el Análisis Inteligente de Big Data para diseñar un sistema electrónico integrado de hardware que se desarrollará en diferentes y específicas ubicaciones para recolectar información sobre concentraciones que causan contaminación atmosférica. Entonces, se invirtió una idea de tecnología de Internet de las cosas y análisis inteligente de datos ("Internet de las cosas" y "Análisis inteligente de datos") para la construcción de un sistema integrado de entidades de hardware y entidades de software colocadas. El objetivo de este trabajo es construir un sistema programable capaz de predecir las concentraciones de contaminantes en las próximas 48 h llamado pronosticador inteligente de concentraciones causadas por la contaminación del aire (IFCsAP) y hacer de la máquina la principal fuente de información después de que estas concentraciones se recolecten y almacenen en tiempo real.</p>
<p>Federated Learning and Autonomous UAVs for Hazardous Zone Detection and AQI Prediction in IoT Environment</p>	<p>Chhikara, P., Tekchandani, R., Kumar, N., Guizani, M., Hassan, M.M.</p>	<p>2021</p>	<p>UAV - DRONES</p>	<p>aire</p>	<p>contaminacion</p>	<p>Se propone un esquema para encontrar el área con el valor de AQI más alto utilizando inteligencia de enjambre. Los datos recopilados luego se alimentan a un modelo CNN-LSTM para predecir el AQI. El modelo local entrenado se envía al servidor central y el servidor agrega los modelos recibidos de los UAV en el enjambre. Se crea un modelo global y se transmite al enjambre de UAV nuevamente en la siguiente iteración. La arquitectura propuesta se compara con otros modelos de series de tiempo.</p>

Design of Machine Learning Prediction System Based on the Internet of Things Framework for Monitoring Fine PM Concentrations	Shun-Yuan Wang	2021	machine learning	aire	contaminacion	En este estudio, se diseñó una unidad móvil de detección de contaminación del aire basada en el marco de Internet de las cosas para monitorear la concentración de partículas finas en tres áreas urbanas. Esta unidad se desarrolló utilizando el microcontrolador NodeMCU-32S, PMS5003-G5 (módulo de detección de partículas) y Ublox NEO-6M V2 (módulo de posicionamiento GPS). La unidad de detección transmite datos de la concentración de materia particulada y las coordenadas de una ubicación contaminada al servidor backend a través de redes de telecomunicaciones 3G y 4G para la recopilación de datos. Este sistema complementará el sistema de adquisición de datos PM2.5 del gobierno
UAV-based measuring station for monitoring and computational modeling of environmental factors	Sprincean, V., Paladi, A., Andruh, V., (...), Lozovanu, P., Paladi, F.	2021	UAV - DRONES	aire	contaminacion	Este artículo trata de la segunda etapa relacionada con el sistema dedicado a drones desarrollado en la Universidad Estatal de Moldova (MSU) en el laboratorio de investigación de Física Ambiental y Sistemas Complejos de Modelado (MSU ePhysMCS Lab) para la observación y soporte del análisis del aire para la contaminación, contaminaciones químicas y radiológicas [2]. Los datos exactos se utilizan para modelar el impacto de los factores bióticos y abióticos durante el proceso de monitoreo ambiental en tiempo real
Mapping soil pollution by using drone image recognition and machine learning at an arsenic-contaminated agricultural field	Jia, X., Cao, Y., O'Connor, D., (...), Zou, B., Hou, D.	2021	UAV - DRONES	suelo	contaminacion	Utilice el reconocimiento de imágenes de drones y el aprendizaje automático para mapear la distribución de la contaminación del suelo en un campo agrícola contaminado con arsénico.
Monitoring of selected cbm threats in the air in industrial areas with the use of unmanned aerial vehicles	Rabajczyk, A., Zboina, J., Zielecka, M., Fellner, R.	2020	UAV - DRONES	aire	contaminacion	Con base en la literatura disponible y las bases de datos de patentes, se llevó a cabo un análisis de los modelos de UAV disponibles en términos de su aplicabilidad en condiciones de aire contaminado en áreas industriales, en caso de emergencias, como incendios, contaminación química. Se analizaron las posibilidades de uso de los dispositivos en términos de condiciones climáticas, construcción y materiales usados en situaciones de amenaza QBRN (química, biológica, radiológica, nuclear).
Development of a Drone-Based Thin-Film Solid-Phase Microextraction Water Sampler to Facilitate On-Site Screening of Environmental Pollutants	Grandy, J.J., Galpin, V., Singh, V., Pawliszyn, J.	2020	UAV - DRONES	agua	contaminacion	Para simplificar el muestreo y el cribado de agua en el sitio, particularmente en sitios peligrosos o de difícil acceso, se desarrolló un dron equipado con un muestreador de microextracción en fase sólida de película delgada y balance hidrófilo-lipófilo (HLB) (TF-SPME).
Detection of radioactive waste sites in the Chernobyl exclusion zone using UAV-based lidar data and multispectral imagery	Briechle, S., Molitor, N., Krzystek, P., Vosselman, G.	2020	UAV - DRONES	suelo	contaminacion	Este documento presenta un método novedoso para detectar sitios de desechos radiactivos basado en un conjunto de características destacadas generadas a partir de datos de teledetección de alta resolución en combinación con un clasificador forestal aleatorio (RF). Inicialmente, generamos un modelo de terreno digital (DTM) y un mapa de vegetación en 3D a partir de los datos y derivamos características basadas en árboles, incluida la densidad de árboles, la altura de los árboles y las especies de árboles. Luego se incorporan subconjuntos de características compilados a partir de la altura DTM normalizada, histogramas de características de puntos rápidos (FPFH) y métricas LIDAR.

<p>UVS in monitoring of environmental factors</p>	<p>Sprincean, V., Paladi, A., Bulimaga, T., Paladi, F.</p>	<p>2020</p>	<p>UAV - DRONES</p>	<p>aire</p>	<p>contaminacion</p>	<p>El objetivo de esta investigación es el desarrollo de un sistema móvil integrado para la monitorización exacta y el modelado computacional de los factores ambientales. Este artículo trata de la primera etapa aconsejable relacionada con un sistema dedicado a drones para la observación y soporte del análisis del aire en busca de contaminación, contaminaciones químicas y radiológicas. Los datos exactos se pueden utilizar para modelar el impacto de los factores bióticos y abióticos durante el proceso de monitoreo ambiental en tiempo real.</p>
<p>Environmental assessment and historic erosion calculation of abandoned mine tailings from a semi-arid zone of northwestern Mexico: insights from geochemistry and unmanned aerial vehicles</p>	<p>Peña-Ortega, M., Del Rio-Salas, R., Valencia-Sauceda, J., (...), de la O-Villanueva, M., Moreno-Rodríguez, V.</p>	<p>2019</p>	<p>UAV - DRONES</p>	<p>suelo</p>	<p>contaminacion</p>	<p>Las imágenes obtenidas utilizando vehículos aéreos no tripulados (UAV) junto con datos geoquímicos se utilizan para evaluar el cálculo de la erosión histórica y la contaminación considerando la contaminación y los índices de peligro en los relaves II y III. Se obtuvieron modelos digitales de elevación de relaves abandonados mediante fotogrametría con UAV.</p>