



Trabajo fin de Máster

Título

Camino de la Transformación: propuesta tecnológica para el avance de los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Nombre

Lenin Antonio Juela Torres

Tutora

Prof. Dra. Rosana Montes Soldado

Convocatoria

Curso 2019/2020

Fecha

15 de diciembre de 2020



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**



Camino de la Transformación: propuesta tecnológica para el avance de los Objetivos de Desarrollo Sostenible por Lenin Antonio Juella Torres se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Lenin Antonio Juela Torres, alumno del **Máster en Gestión y Tecnologías de Procesos de Negocio de la Universidad de Granada**, autorizo la publicación de la siguiente copia de mi Trabajo Fin de Máster en la Biblioteca del Centro y la web del Máster para que pueda ser consultada por las personas que lo deseen.

Fdo: Lenin Antonio Juela Torres

Granada a 4 de diciembre de 2020

Dra. **Rosana Montes Soldado**, profesora del Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos de la Universidad de Granada.

INFORMA:

Que el presente trabajo, titulado *Camino de la Transformación: propuesta tecnológica para el avance de los **Objetivos de Desarrollo Sostenible***, ha sido realizado bajo mi supervisión por **Lenin Antonio Juela Torres**, y que autorizo la defensa de dicho trabajo ante el tribunal que corresponda.

Para que así conste firmo el presente informe en Granada, a 4 de diciembre de 2020.

La directora:

Dra. Rosana Montes Soldado

Lenin Juela Torres, alumno del **Máster en Gestión y Tecnologías de Procesos de Negocio de la Universidad de Granada**, declaro explícitamente que el trabajo presentado es original, entendiendo en el sentido de que todas las fuentes utilizadas se han citado debidamente respetando los derechos de autoría.

Fdo: Lenin Antonio Juela Torres

Granada a 4 de diciembre de 2020

RESUMEN

El desarrollo sostenible nos permite alcanzar un progreso armonioso entre la sociedad y el medio ambiente en el que se desenvuelven, generando crecimiento económico y bienestar social. No es desconocido el hecho de que el incremento poblacional, globalización y con ello la industrialización, han acarreado grandes problemas que atentan dicho progreso. A lo largo de la historia el ser humano ha hecho uso de los recursos naturales con los que ha contado para transformarlos en herramientas que le permitan alcanzar un mejor nivel de vida, la explotación de estos a lo largo del tiempo nos ha traído hasta la actualidad problemas de desabastecimiento de materias primas, deforestamiento, falta de recursos básicos como agua, generación de energía mediante recursos no renovables, etc.

Mediante la consecución de los objetivos de desarrollo sostenible se logrará un mejor panorama a corto, mediano y largo plazo; esto pensando en las generaciones futuras y las necesidades a las que se enfrentarán. La implicación de las tecnologías emergentes en los últimos tiempos, nos lleva a pensar que son el camino a seguir para disminuir los efectos medioambientales causados por los procesos de las personas en sus actividades cotidianas. Una correcta gestión de las tecnologías nos podrá acercar a crear un equilibrio entre el progreso y la igualdad para todos los sectores.

La importancia de un estudio detallado de los objetivos y de indicadores que permitan establecer las mejoras que se consiguen con la implementación de nuevas tecnologías es muy relevante; poder proponer modelos de sistemas factibles y accesibles para la mayoría de los sectores es una prioridad. Es por ello que la motivación para la realización del presente trabajo reside en, desde el punto de la academia, proponer soluciones tecnológicas que logren cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible planteados en la agenda 2030.

Palabras Clave: ODS, sostenibilidad, residuos sólidos, gestión ambiental, ciudades inteligentes.

ABSTRACT

Sustainable development allows us to achieve harmonious progress between society and the environment in which they operate, generating economic growth and social well-being. It is no unknown the fact that the population increase, globalization and with it the industrialization, have brought about big problems that attempt this progress. Throughout history, human beings have made use of the natural resources they have had to transform them into tools that allow them to achieve a better standard of living. The exploitation of these over time has brought us to the present day problems of shortages of raw materials, deforestation, lack of basic resources such as water, generation of energy using non-renewable resources, etc.

By achieving the sustainable development goals, a better picture will be achieved in the short, medium, and long term; this thinking about future generations and the needs they will face. The involvement of emerging technologies in recent times, lead us to think that they are the way forward to reduce the environmental effects caused by people's processes in their daily activities. Proper technology management can bring us closer to creating a balance between progress and equality for all sectors.

The importance of a detailed study of the objectives and indicators that allow establishing the improvements that are achieved with the implementation of new technologies is very relevant; being able to propose feasible and accessible system models for most sectors is a priority. That is why the motivation for carrying out this work lies in, from the point of view of the academy, being able to propose technological solutions that achieve the sustainable development objectives set out in the 2030 agenda.

Keywords: ODS, sustainability, solid waste, environmental management, smart cities.

Agradecimientos

Quiero agradecer principalmente a mi familia, que aunque este tiempo no pudimos estar físicamente juntos, siempre los sentí cerca de mí con todo su cariño y apoyo de siempre; a mi padre que es y será mi mejor ejemplo de vida y al que le debo mi vida entera. Igualmente quiero agradecer de sobremanera a mi tutora Rosana que gracias a ella y todo el apoyo que me ha brindado esto es posible, muchas gracias por toda la implicación, el esfuerzo y la guía que me has dado.

Objetivos

Objetivo general:

Promover la consecución de ciertos Objetivos de Desarrollo Sostenible que, mediante la identificación de nuevas tecnologías disruptivas, la promoción de estas tecnologías y la aceleración de su adopción por parte de los distintos actores.

Objetivos específicos:

- Revisión de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y su estado actual.
- Identificar una problemática que impacte en varios ODS.
- Tecnologías emergentes y disruptivas aplicables a la problemática identificada.
- Propuesta tecnológica para el avance de los objetivos de desarrollo sostenible.

Índice de contenidos

1. Introducción	11
1.1. Objetivo de Desarrollo Sostenible – Agenda 2030	15
1.2. Propósito del proyecto	18
2. Alcance	18
2.1. Objetivos directos	19
2.1.1. ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles	19
2.1.2. ODS 12. Producción y consumo responsables	20
2.2. Objetivos indirectos	20
2.2.1. ODS 6. Agua limpia y saneamiento	20
2.2.2. ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico	21
3. Problemática de los residuos	21
4. Soluciones presentes a la gestión de residuos	31
4.1. Sistemas de recogida de residuos	32
4.1.1. Recolección puerta a puerta (PaP)	33
4.1.2. Áreas de aportación	33
4.1.3. Sistema neumático	33
4.1.4. Puntos limpios	33
4.1.5. Recogidas comerciales	34
4.1.6. Recogida específica	34
4.2. Recogida de residuos en España	34
4.3. Tratamiento de residuos	38
4.3.1. Plantas de recuperación de residuos	38
4.3.2. Vertederos	42
4.4. Tratamiento de residuos municipales en España	43
5. Ciudades inteligentes y tecnologías emergentes	45
5.1. Ámbitos de una ciudad inteligente	46
5.1.1. <i>Smart Mobility</i>	46
5.1.2. <i>Smart Governance</i>	48
5.1.3. <i>Smart Environment</i>	49
5.1.4. <i>Smart Living</i>	50
5.1.5. <i>Smart Economy</i>	51
5.1.6. <i>Smart People</i>	51
5.2. Etapas en la creación de una ciudad inteligente	52
5.3. Plataforma de ciudad inteligente	53
5.4. Tecnologías emergentes aplicables a las ciudades inteligentes	54

5.4.1.	IoT (<i>Internet of Things</i>).....	54
5.4.2.	IoB (<i>Internet of Behavior</i>).....	55
5.4.3.	<i>Big Data</i>	55
5.4.4.	Inteligencia Artificial (IA).....	56
5.4.5.	Computación en la nube (<i>Cloud Computing</i>).....	57
5.4.6.	Nube distribuida (<i>Distributed cloud</i>).....	58
5.4.7.	Blockchain.....	58
6.	Propuesta tecnológica para la gestión de residuos	59
6.1.	Modelado de un sistema estándar de gestión de residuos	60
6.2.	Modelado de un sistema mejorado de gestión de residuos.....	62
6.3.	Aporte del sistema propuesto a la consecución de los ODS 6-8-11-12.....	67
7.	Conclusiones	69
8.	Bibliografía.....	71

1. Introducción

El término **desarrollo sostenible** tiene su aparición de manera formal en el Informe Brundtland [1] de 1987 de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo donde se tiene que su significado es lograr satisfacer las necesidades presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades propias. El desarrollo sostenible se lo enfoca en tres pilares fundamentales como el económico (ser económicamente viable), ambiental (respetar el medio ambiente) y el social (equidad social)[2].

Para [3] el desarrollo sostenible debe buscar una expansión económica, eliminar la pobreza extrema, crear confianza social mediante políticas orientadas al desarrollo de las comunidades, y que el medio ambiente se encuentre protegido de las amenazas y degradaciones producidas por las personas. Cabe recalcar que el desarrollo sostenible no tiene por qué separarse y buscar desarrollos individuales, más bien debe tener un enfoque holístico que embarque todos los ámbitos de desarrollo posibles.

Un cuarto agente que se destaca en [3] es la buena gobernanza ya que son las encargadas de garantizar los servicios y funciones básicas para las sociedades y que estas les permitan progresar. Funciones como la prestación de servicios básicos como sanidad y educación, infraestructuras, suministro de energía, protección social, introducción de nuevas tecnologías, cuidados del medio ambiente. Por otra parte, se encuentran las empresas multinacionales que tienen un gran impacto en la sociedad y que se deben regir estrictamente a las leyes para generar un bienestar colectivo en el medio que se desenvuelven.

En [4] se pone de manifiesto que el desarrollo sostenible debe significar la introducción de nuevas tecnologías y maneras de hacer negocios, que permitan una mejora en la calidad de vida tanto económica, social y ambiental, sin llegar a dañar o comprometer la capacidad de las generaciones futuras de disfrutar de una buena calidad de vida y de tener mejores oportunidades o al menos iguales de las que contamos en la actualidad.

La definición dada por el Informe Brundtland según [5] se debe ir ajustando a medida de que se vayan incrementando las condiciones sociales en las que el ser humano forma parte de un sistema y no es dueño del mismo, teniendo que este desarrollo es un proceso en que se armoniza el crecimiento económico, se logra una preservación de los recursos naturales, se logra una reducción del impacto ambiental y se busca la equidad social todo desde el contexto de gobernabilidad política en todos los peldaños, locales, regionales, nacionales y globales.

Según [6] se puede hablar de tres corrientes de desarrollo sostenible: sostenibilidad débil, fuerte y súper fuerte. La sostenibilidad débil es la que acepta la reducción del impacto ambiental mediante el cambio de los procesos productivos actuales y se considera que la conservación es un factor necesario para el crecimiento económico. La sostenibilidad fuerte advierte que no todas las valoraciones son económicas, es decir que no tiene importancia el valor económico que se obtenga si el impacto ambiental que se genere fuese insostenible, es por ello por lo que bajo esta postura se pretende asegurar la supervivencia de especies y la protección de ambientes críticos. Mientras que la sostenibilidad súper fuerte introduce muchas más valoraciones que la económica, entre ellas valores culturales, religiosos, ecológicos, estéticos; estas valoraciones no dependen de la utilidad o apropiación de los individuos, sino que forman parte inherente de ellos y son su soporte físico.

Un hecho importante fue la Cumbre de Río de Janeiro en Brasil el año de 1992 donde se reunieron representantes gubernamentales y de la sociedad civil, miembros de la comunidad científica y medios de comunicación, todos de más de 179 países, con el objetivo de establecer mecanismos socioeconómicos para la conservación ambiental. Es así como de dicha cumbre salió la denominada Agenda 21, que era un plan de acción en ámbitos locales, nacionales e internacionales. Además, la agenda tenía la participación de las Naciones Unidas y de varios grupos representativos de las diferentes áreas como agricultores, trabajadores, indígenas y la industria en general [7].

Para la puesta en marcha de la Agenda 21 se adoptó la denominada Declaración de Río, donde se establecieron 27 principios para su desarrollo, en el mismo de habla entre otras cosas del derecho del ser humano a tener una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza, derecho al desarrollo sostenible pensando en las generaciones presentes y futuras, la protección ambiental como parte integral para el desarrollo sostenible, trabajo conjunto de los Estados para erradicar la pobreza y reducir las diferencias en los niveles de vida. Los ejes fundamentales de la Agenda 21 fueron 4: Dimensiones económicas y sociales, conservación y manejo de los recursos, fortalecimiento de la participación de grupos representativos, medios y mecanismos de implementación [7].

Meses después de la creación de la Agenda 21 se creó la Comisión de Desarrollo Sostenible para hacer un seguimiento de la implementación de esta. Dicha comisión estaba integrada por 53 países y se realizaban reuniones anuales en la sede de las Naciones Unidas en New York, donde no solo se tenía la presencia de representantes gubernamentales, sino que también participaban docentes, industrias, estudiantes, representantes sindicalistas, ONG, etc. constituyéndose así un foro para el dialogo y el intercambio de ideas y experiencias en cuanto a desarrollo sostenible se trata [7].

Una versión primitiva de la actual Agenda 2030 fueron los Objetivos de Desarrollo del Milenio ODM, en donde fueron 189 países miembros de la Organización de las Naciones Unidas los que en el año 2000 se comprometieron a cumplir dichos objetivos. Se establecieron ocho objetivos:

1. Erradicar la pobreza extrema y el hambre
2. Lograr la enseñanza primaria universal
3. Promover la igualdad de género y el empoderamiento de la mujer
4. Reducir la mortalidad de los niños menores de 5 años
5. Mejorar la salud materna
6. Combatir el VIH/sida, el paludismo y otras enfermedades
7. Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente
8. Fomentar la alianza mundial para el desarrollo

Los objetivos establecidos fueron lo más claros posibles y se llegó al acuerdo de lograr metas cuantitativas donde se indicarían el nivel de cumplimiento de los objetivos para el año 2015, presentando las principales variables económicas y sociales. Del informe de 2015 presentado por la ONU, se muestra en la Tabla 1 los logros que se consiguieron.

Tabla 1. Logros de los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Adaptado de [8].

Objetivos de Desarrollo del Milenio - Informe de 2015	
Objetivo 1: Erradicar la pobreza extrema y el hambre	Reducción de la pobreza extrema. Para el año 1990 casi la mitad de la población vivía con menos de 1,25 dólares al día. Para el año 2015 la población en estas condiciones se ha reducido en un 14%
	En 1990 existía 1.900 millones personas en pobreza extrema, para el año 2015 descendió a 836 millones.
	La cantidad de clase media, que gana más de 4 dólares al día, se ha triplicado entre el año 1991 y 2015.
	Reducción de personas con deficiente nutrición en regiones en desarrollo. Hubo un descenso de casi la mitad desde 1990, pasando del 23,3 % en el periodo 1990-1992 a 12,9 en los años 2014-2016
Objetivo 2: Lograr la enseñanza primaria universal	Los matriculados en educación primaria en regiones en desarrollo han pasado del 83% que se tenía en el año 2000 al 91% para el 2015.
	El número de niños en edad de recibir educación primaria y que no lo tuvo se redujo aproximadamente la mitad, pasado de 100 millones a 57 millones del año 2000 al 2015.
	La región de mayor mejora fue África subsahariana, incrementado en 20 puntos porcentuales la tasa neta de matriculación en el período del 200-2015, en comparación con los 8 puntos porcentuales que se tenía entre 1990 y 2000.
	Existió un incremento global en la tasa de alfabetización de jóvenes entre 15 y 24 años pasando del 83% en 1990 al 91% en 2015.
Objetivo 3: Promover la igualdad de género y el empoderamiento de la mujer	El número de niñas que asisten a la escuela se ha incrementado en los últimos 15 años. Las regiones en desarrollo han logrado suprimir la disparidad género en la enseñanza primaria, secundaria y terciaria.
	En Asia meridional, se tenía en el año 1990 que por cada 100 niños había 74 niñas matriculadas, para el año 2015 por cada 100 niños hay 103 niñas matriculadas.
	El número de mujeres trabajadoras remuneradas en sectores no agrícolas paso del 35% del año 1990 al 41% en 2015.
	La participación parlamentaria de las mujeres se incrementó en los últimos 20 años, alcanzando casi el 90% de los 174 países de los que se dispone de datos.
Objetivo 4: Reducir la mortalidad de los niños menores de 5 años	Han disminuido los números de mortandad en niños menores de 5 años, pasando de 90 en 1990 a 43 en 2015, por cada 1.000 niños nacidos vivos.
	En regiones en desarrollo a pesar del incremento en la población, la cantidad de niños muertos menores de 5 años se redujo de 12,7 millones a 6 millones entre el año 1990 al 2015.
	Se triplicó la tasa de reducción de mortandad a nivel mundial de niños menores a 5 años.
	En África subsahariana, la tasa anual de reducción de mortalidad de niños menores de 5 años fue cinco veces mayor en los años 2005-2013 que los comprendidos entre 1990-1995.
	La vacunación contra el sarampión permitió evitar la muerte de cerca de 15,6 millones entre el año 2000 y 2013. Así como la reducción de casos de sarampión en un 67% para el mismo periodo.
Se paso del 73% en el año 2000 al 84% en 2013 en niños que recibieron vacunación contra el sarampión.	
Objetivo 5: Mejorar la salud materna	Existió una disminución del porcentaje de mortandad materna de una 45% a nivel mundial desde el año 2000.
	En Asia meridional hubo una disminución de 64% entre el año 1990 al 2013, mientras que en África subsahariana cayó en un 49%.
	En cuanto a personal médico capacitado que atendió los nacimientos, hubo un incremento del 59% en el año 1990 al 71% para el año 2014.
	En África septentrional, hubo un incremento del número de mujeres que recibió cuatro o más visitas prenatales, pasando del 50% en el año 1990 al 89% en 2014.
	La prevalencia de anticonceptivos entre mujeres entre 15 a 49 años a nivel mundial paso del 55% en 1990 al 64% en 2015.

Objetivo 6: Combatir el VIH/sida, paludismo y otras enfermedades	El número de personas infectada con VIH se redujo cerca del 40% entre los años 2000 y 2013.
	En el año 2014 en todo el mundo, 13,6 millones de personas con VIH recibieron la terapia antirretroviral, en comparación con las 800.000 personas en 2013. Desde 1995 al 2013 se ha impedido 7,6 millones de muertes gracias a la terapia antirretroviral.
	En cuanto a paludismo se han evitado 6,2 millones de muertes entre el año 2000 y 2015. Una aproximación indica que la incidencia a nivel mundial de paludismo ha disminuido en un 37% y la mortalidad ha caído un 58%.
	Se hizo la entrega en África subsahariana entre el año 2004 y 2014 de más de 900 millones de mosquiteros impregnados con insecticida.
	Aproximadamente 37 millones de personas preservaron su vida entre el año 2000 y 2013 gracias a las intervenciones de prevención, diagnóstico y tratamiento de la tuberculosis.
Objetivo 7: Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente	Se eliminaron las sustancias que agotan la capa de ozono y se espera su recuperación para mediados de siglo.
	Incremento en las áreas terrestres y marinas protegidas. En América Latina y el Caribe, hubo un incremento del 8,8% al 23,4 % entre el año 1990 y el 2014.
	El uso de agua mejorada a nivel mundial se ha incrementado del 76% en 1990 al 91% en 2015.
	En cuanto a agua potable suministrada por cañería hasta el hogar, el 58% de la población mundial cuenta con este nivel de servicio.
	147 países alcanzaron el objetivo de acceso a una fuente de agua potable, 95 países alcanzaron el objetivo de saneamiento y 77 países alcanzaron ambas.
	2.100 millones de personas han obtenido acceso a mejores servicios de saneamiento.
	Existió una disminución de la población urbana en barrios marginales, pasando del 39,4% en el año 2000, al 29,7% en 2014.
Objetivo 8: Fomentar una alianza mundial para el desarrollo	Existió un incremento en la asistencia para países en desarrollo del 66%, alcanzando 135.200 millones de dólares entre 2000 y 2014.
	Países como Dinamarca, Noruega, Luxemburgo, Reino Unido y Suecia, superaron su nivel de asistencia oficial para el desarrollo un 0,7% del ingreso nacional bruto.
	Para el año 2014, 79% de las importaciones provenientes de países en desarrollo hacia países desarrollados fueron declaradas libres de aranceles, en relación del 65% que se tenía en el año 2000.
	En el año 2015, el 95% de la población mundial tiene cobertura de señal de telefonía móvil.
	Ha existido un aumento en las suscripciones a telefonía móvil en casi diez veces, pasando de 738 millones a 7 mil millones del año 2000 al 2015.
	La penetración de Internet creció del 6% de la población mundial en el año 2000, al 43% en 2015. Teniendo aproximadamente 3.200 millones de personas conectadas a la red global.

Una vez terminado el periodo de los Objetivos de Desarrollo del Milenio, la Asamblea General de Organización de las Naciones Unidas en el año 2015, por aclamación, aprobó la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible, además en ese mismo año se adoptó el Acuerdo de París referente a la reducción de gases de efecto invernadero. Para [9] los ODS tienen una gran influencia en el comportamiento de los actores sociales, económicos y políticos por lo que es un instrumento eficaz para la gobernanza global para lograr el desarrollo. Dicha agenda 2030 implemento varios objetivos en relación con su antecesora, los mismos se los detallará en el siguiente apartado.

1.1. Objetivo de Desarrollo Sostenible – Agenda 2030

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible fueron adoptados el 25 de septiembre de 2015 por los líderes mundiales, dichos objetivos son globales y se enfocan en varios ámbitos, principalmente erradicar la pobreza, la protección del medio ambiente y asegurar la prosperidad. Estos objetivos cuentan con metas específicas que deberán alcanzarse hasta el año 2030. Son 17 objetivos de desarrollo sostenible dentro de los cuales hay 169 metas propuestas que se pretende tengan el potencial de transformar la sociedad y movilizar a personas y países. En esta agenda se agregan objetivos no tratados en los Objetivos de Desarrollo del Milenio e implica la participación de los gobiernos, empresas, academia y sociedad en general.

La diferencia entre los ODM y los ODS es el propósito de ir mucho más allá de los promedios. En el balance general de los ODM se apreciaban que los índices de pobreza extrema se habían reducido, pero no reflejaban la realidad debido a que al promediar los resultados en países como China, India, Brasil y América Latina hacían creer que la mejora era la misma en el resto de las naciones. Es por ello por lo que los ODS deben enfocarse en todos los niveles de desarrollo. En [8] se indica que los ODS se los puede considerar alcanzados si se han logrado para todas las personas, pueblos y segmentos de la sociedad.

A continuación, se enumeran cada uno de los ODS planteados en la Agenda 2030:

1. Fin de la pobreza
2. Hambre cero
3. Salud y Bienestar
4. Educación de calidad
5. Igualdad de género
6. Agua limpia y saneamiento
7. Energía asequible y no contaminante
8. Trabajo decente y crecimiento económico
9. Industria, Innovación e Infraestructura
10. Reducción de las desigualdades
11. Ciudades y Comunidades Sostenibles
12. Producción y consumo responsable
13. Acción por el clima
14. Vida Submarina
15. Vida de Ecosistemas Terrestres
16. Paz, Justicia e Instituciones Sólidas
17. Alianzas para lograr los objetivos.

De la misma forma que para los ODM se presentaron los resultados más representativos que se han alcanzado, en el año 2018 la Organización de Naciones Unidas presento el informe con los logros que se han conseguido hasta el momento. En la tabla 2 se exponen los más importantes.

Tabla 2. Logros de los ODS – Informe 2018. Adaptado de [10].

ODS 2030	Resultados del informe 2018
Objetivo 1 Fin de la pobreza	La pobreza extrema en el 2013 se ha reducido a un tercio del valor de 1990 .
	Las familias que viven con menos de \$1,90 se redujo de. 26,9 al 9,2 en 2017.

	<p>En 2016, solo el 46% de la población mundial, tenía al menos una prestación social.</p> <p>La estimación de pérdidas por desastres en 2017 fue de 300.000 millones de dólares.</p>
<p>Objetivo 2 Hambre Cero</p>	<p>El número de personas con nutrición deficiente paso del 10,6% al 11% entre el año 2015 y 2016.</p> <p>Para 2017, 240 millones de niños menores de 5 años sufría algún problema de salud por mala alimentación.</p> <p>En 2016 hubo una ayuda de 12.500 millones de dólares en agricultura.</p> <p>Se han reducido los subsidios agrícolas, pasando de 491 millones de dólares en 2010 a menos de 200 millones en 2015.</p> <p>26 países en 2016 experimentaron precios generales altos de alimentos.</p>
<p>Objetivo 3 Salud y Bienestar</p>	<p>Se ha reducido la mortalidad materna un 20% desde el año 2000.</p> <p>La tasa de mortalidad de niños menores de 5 años bajó 47 puntos porcentuales.</p> <p>La incidencia del VIH bajó de 0,40 a 0,26 por cada 100 personas no infectadas entre el 2005 y 2016.</p> <p>El número de personas con paludismo aumentó de 2010 millones en 2013 a 216 millones en 2016.</p> <p>Los mayores causantes de mortandad son el agua no apta para el consumo, mal saneamiento y falta de higiene.</p>
<p>Objetivo 4 Educación de calidad</p>	<p>Ha existido un aumento en las tasas de participación educativa en la primera infancia, pasando del 63% en 2010 al 70% en 2016.</p> <p>Se estima que, de los 617 millones de niños y adolescentes en educación primaria, el 58% no lograron las competencias mínimas en matemáticas y lectura.</p> <p>En el año 2016 se capacitó al 85% de docentes de educación primaria.</p> <p>En 2016 en los países menos adelantados, solo el 34% de las escuelas tenían servicio de electricidad y menos del 40% instalaciones para el lavado de manos.</p>
<p>Objetivo 5 Igualdad de género</p>	<p>En el año 2017 se estima que el 21% de mujeres entre 20 y 24 años informaron haberse casado o ser parte de una unión no formal antes de cumplir 18 años.</p> <p>Entre 2000 y 2016, las mujeres dedicaron tres veces más horas a trabajos domésticos y cuidados no remunerados que los hombres.</p> <p>La participación de la mujer en los parlamentos aumento del 19% en 2010 al 23% en 2018.</p> <p>El 20% de adolescentes entre 15 y 19 años aseguro haber sido víctima de violencia física o sexual.</p>
<p>Objetivo 6 Agua Limpia y Saneamiento</p>	<p>En el año 2015 el 29% de la población mundial no disponían de agua potable.</p> <p>En 2015, tan solo el 27% de la población en los países menos adelantados contaba con instalaciones básicas para el lavado de manos.</p> <p>En 2017-2018, 157 países comunicaron que de tiene un promedio de 485 de su implementación de gestión integrada de recursos hídricos.</p> <p>Datos de 79 países indican que el 59% de las aguas residuales tienen tratamientos seguros.</p>
<p>Objetivo 7 Energía asequible y no contaminante</p>	<p>Se aumento el acceso a electricidad en la población mundial del 78% en 2000 al 87% en 2016.</p>

	<p>En países menos desarrollados se aumentó casi el doble el acceso a electricidad entre el año 2000 y el 2016.</p> <p>En 2016 el 41% de la población mundial aún utilizaban combinaciones de combustibles y cocinas contaminantes.</p> <p>La intensidad energética mundial se redujo en 2,8 puntos porcentuales entre el 2014 y el 2015.</p>
<p>Objetivo 8 Trabajo decente y crecimiento económico</p>	<p>El PIB mundial en el año 2016 tuvo un incremento del 1,3%, más bajo que el 1,7% alcanzado entre el 2010 y 2016.</p> <p>La productividad mundial aumento 2,1% en 2017.</p> <p>En 2016 el empleo en el sector informal era de alrededor del 61%.</p> <p>Según datos de 45 países, los salarios de los hombres son un 12,5% más alto que el de las mujeres.</p> <p>Los jóvenes tuvieron tres veces más probabilidad de estar desempleados que los adultos en 2017.</p>
<p>Objetivo 9 Industria, Innovación e Infraestructura</p>	<p>La intensidad de carbono disminuyó un 19% entre 2000 y 2015.</p> <p>En 2015, los sectores de tecnología de alta y media-alta tecnología representaron el 44,7% del valor agregado por manufactura total del mundo.</p> <p>En el año 2016 el 61% de la población de países menos adelantados contó con cobertura móvil 3G, mientras que a nivel mundial el porcentaje fue del 84%.</p>
<p>Objetivo 10 Reducción de las desigualdades</p>	<p>En 60 de 94 países que suministraron datos, los ingresos del 40% más pobre aumentó más rápidamente que el del resto de la población.</p> <p>La producción de pequeños estados insulares y su exportación con arancel cero aumentó en un 20% entre el 2010 y 2016.</p> <p>Los envíos de remesas a países de ingresos medios y bajos representaron más de un 75% del total de remesas en 2017.</p>
<p>Objetivo 11 Ciudades y Comunidades Sostenibles</p>	<p>La población que vivían en barrios marginales disminuyó del 28,4% al 22,8% entre el 2000 y el 2014.</p> <p>En el 2016, el 91% de la población respiraba aire que no cumplía con los valores normales establecidos por la OMS.</p> <p>El 90% de las muertes, entre el año 1900 y el 2013, son atribuidas a desastres ocurrió en países ingresos medios y bajos.</p>
<p>Objetivo 12 Producción y consumo responsable</p>	<p>A nivel global en 2018, 108 países contaban con políticas nacionales referentes al consumo y la producción sostenible.</p> <p>El 93% de las 250 compañías más grandes realizan reportes de sostenibilidad.</p>
<p>Objetivo 13 Acción por el clima</p>	<p>La temporada de huracanes del Atlántico Norte de 2017 fue la más costosa desde que se tiene registro</p> <p>La mayoría de los países han ratificado el Acuerdo de París y presentaron las contribuciones determinadas a nivel nacional</p>
<p>Objetivo 14 Vida Submarina</p>	<p>La población de peces marinos dentro de los rangos biológicamente sostenibles cayó del 90% al 69% entre los años 1974 al 2013.</p> <p>La cobertura media de ACB marinas se incrementó entre 2000 y 2018.</p> <p>Los lugares en océanos abierto muestran que los rangos actuales de acidez se elevaron un 26% desde el inicio de la Revolución Industrial</p>
<p>Objetivo 15 Vida de Ecosistemas Terrestres</p>	<p>La reducción de superficies forestales pasó de 4100 a 4000 millones de hectáreas del año 2000 al 2015.</p> <p>Entre el año 1999 y 2013 la superficie terrestre cubierta de vegetación redujo su productividad, poniendo en riesgo la subsistencia de más de 1000 millones de personas</p>

	Son casi 7000 especies de animales y vegetales comercializadas ilegalmente que está frustrando los esfuerzos de conservación
Objetivo 16 Paz, Justicia e Instituciones Sólidas	Según datos del 2005 a 2017, 8 de cada 10 menores entre 1 y 14 años sufrieron algún tipo de agresión psicológica o física.
	Entre 2012 y 2024 se identificaron más de 570 diferentes corrientes de trata de personas
	La mayoría de las personas víctimas de trata de personas fueron mujeres y niñas. Más del 90% fueron con fines de explotación sexual y trabajo forzado
	A nivel mundial se registró el nacimiento del 73% de los niños menores de 5 años
Objetivo 17 Alianzas para lograr los objetivos	La Ayuda Oficial al Desarrollo (AOD) experimento una caída de 0,6 puntos porcentuales del 2016 al 2017.
	LA AOD para generar capacidades y planeación nacional era de 20,4 mil millones de dólares en 2016, que se ha mantenido sus valores desde el 2010
	En 2016 la banda ancha fija de alta velocidad fue del 6% en países en desarrollo y del 24% en los países desarrollados

1.2. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es lograr identificar tecnologías que se puedan aplicar a una problemática en específico, en este caso se trabajará sobre el tema de los **residuos sólidos**, y se buscará que las soluciones planteadas puedan tener un impacto positivo en la consecución de varios de los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030. La idea principal radica en analizar la situación actual del sistema de gestión de residuos e identificar potenciales mejoras mediante la inserción de elementos tecnológicos que logren hacer más eficiente al sistema. Se busca además que en este proyecto se tenga la implicación de varios actores, desde los ciudadanos, la academia y las empresas públicas y privadas.

Para una mejor comprensión y desarrollo de cada una de las partes de las que se encuentra conformado este proyecto. a la presente memoria se la a dividido en siete secciones: en la sección 2 se presenta el alcance del proyecto en donde se establecen los ODS a los cuales se pretende impulsar, en la sección 3 se tiene la problemática y es en la que se indicarán las estadísticas que generan los residuos sólidos y las tendencias que se han tenido y tendrán, en la sección 4 se tratará cada uno de los elementos que intervienen en un sistema tradicional de gestión de residuos, en la sección 5 se hablará de las ciudades inteligentes y las tecnologías emergentes que pueden ser aplicadas para mejorar el sistema actual de gestión de residuos, para en la sección 6 realizar la propuesta tecnológica indicando las mejoras en cada una de las etapas, finalmente en la sección 7 se presentarán las conclusiones que se han obtenido mediante este trabajo.

2. Alcance

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible es el plan de acción para la consecución de los objetivos de sostenibilidad planteados por la Asamblea General de la ONU, en la misma se cuenta con la participación de 193 países miembros. Para poder realizar la evaluación y seguimiento de los objetivos se cuenta con 232 indicadores [11]. Los ODS no cuenta con un marco jurídico que los haga obligatorios para los países por lo que la ONU espera que sean los propios países que adopten marcos nacionales para su logro.

Las soluciones que aporten a la consecución de los ODS no solamente se deberían enfocar en uno de ellos, más bien se debe tener una perspectiva holística que impacte en la mayor cantidad de objetivos posibles, de tal forma que actores de varias ramas del conocimiento puedan entrelazar sus conocimientos y capacidades para la busca de un bien común.

Desde la parte de la ingeniería se puede aportar en gran medida a la consecución de los ODS, es por ello por lo que la WFEO (*World Federation of Engineering Organizations*) ha firmado un compromiso con la UNESCO para promover los Objetivos de Desarrollo Sostenible desde el plano de la ingeniería, para ello ha activado el Plan *WFEO Engineering 2030* en donde se tiene una integración de la academia y universidades, la industria y los negocios, el gobierno y el sector público y la sociedad en general. Y es que la ingeniería es clave para alcanzar los objetivos planteados por la ONU, desde la misma se puede proponer varias soluciones innovadoras y reales en una diversa cantidad de áreas de aplicación. La ingeniería puede intervenir en el desarrollo de infraestructura como carreteras, puentes ferroviarios, represas, sistemas de comunicación, gestión de residuos, suministro de agua, energía e infraestructura digital. Con ello las economías de los países en los que la ingeniería toma un papel protagónico crece y se desarrolla, logrando mejores resultados económicos y sociales, mejorar la esperanza de vida, la disminución las tasas de alfabetización, etc. En la actualidad estamos en la denominada cuarta revolución industrial donde los datos y la interconexión de dispositivos y el internet de las cosas permiten tener procesos más eficientes y generar proyectos innovadores. Las ciudades inteligentes están empezando su transformación con la implementación de infraestructura verde y desarrollando fuentes de energía de bajas emisiones de CO₂ [12].

Es así como en la presente memoria se presenta una propuesta tecnológica para la consecución de los ODS que impacta en cinco de ellos, de los cuales en dos se tiene un impacto directo, mientras que en los tres restantes se tiene un impacto indirecto. El tema principal por el que gira la propuesta es el MEDIOAMBIENTAL.

2.1. Objetivos directos

Realizando un análisis de todos los ODS y cada una de las metas que se tiene en cada uno de ellos, existen objetivos en los que el tema medioambiental es el protagonista y que además son estos en los que se tiene un enfoque directo en el tema de residuos, de esta forma se los plantea como objetivos directos en los que se pretende que las soluciones que se propondrán logren mejorar sus indicadores.

2.1.1. ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles

Meta 11.6 “*De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo*” [13].

Las ciudades son los asentamientos urbanos de mayor cantidad de personas y generan grandes impactos en la tierra y en sus habitantes, de esta manera es fundamental un estudio de su evolución y los problemas ambientales o de salud que afectan a las comunidades y al planeta. El concepto de ciudad ha evolucionado y ha llegado a lo que hoy en día se conoce como las Ciudades Inteligentes o *Smart Cities*, las mismas que con una buena implementación pueden dar solución al ODS 11 [14]. Se sabe que las ciudades y las áreas metropolitanas impactan al crecimiento económico y que contribuyen al 60% del PIB mundial. Por otra parte, también tienen su impacto negativo llegando a generar cerca del 70% de las emisiones de carbono mundial y un consumo de los recursos de alrededor del 60%. Problemas como los asentamientos

en barrios marginales con infraestructuras y servicios básicos inadecuados, provocan una mayor contaminación y una expansión urbana no planificada [10]. Los temas que se pueden tratar en las ciudades y comunidades sostenibles están las infraestructuras, energía y construcciones inteligentes, movilidad inteligente, E-Gobernanza y E-Participación, gestión de datos, etc.

2.1.2. ODS 12. Producción y consumo responsables

Meta 12.2 *“De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales”* [15].

Meta 12.5 *“De aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización”* [15].

Con el aumento de la población, la urbanización y el crecimiento económico, también existe un aumento de la demanda de materias primas, las mismas que son necesarias para que las empresas puedan realizar su actividad a lo largo de su cadena de valor. Con los recursos naturales las empresas pueden cubrir las demandas actuales del mercado, aunque se está provocando que se extraigan cada vez más y se los utilicen a un ritmo superior al de reposición, llegando en el peor de los casos a acabar con ellos [16].

El consumo de los recursos naturales a su vez genera residuos que pueden ser tóxicos (desechos electrónicos) y pueden contener sustancias químicas y metales pesados o a su vez residuos que los ecosistemas sean incapaces de absorber; según informes de PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) por cada kilómetro cuadrado de océano existe un aproximado de 13.000 trozos de desechos plásticos [16].

Es por ello por lo que las empresas y los modelos de negocios en la actualidad deben orientarse a una economía circular en la que las materias, los productos y los recursos pueden mantenerse dentro de la economía el mayor tiempo posible. La gestión de residuos puede contribuir a la creación de una economía circular, en este caso los residuos no simplemente se estancan en el paso de reciclado, sino que se los reutiliza en su totalidad.

2.2. Objetivos indirectos

De similar manera se realizó un análisis del resto de ODS en los que, de alguna forma, una mejora en la gestión de residuos podría permitir que se consigan algunas de las metas planteadas en la agenda 2030, los mismos se los expone a continuación.

2.2.1. ODS 6. Agua limpia y saneamiento

Meta 6.3 *“De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial”* [17].

El agua es un elemento muy importante para la erradicación de la pobreza y el desarrollo sostenible, mediante la misma se puede lograr el desarrollo del ser humano en temas de seguridad alimentaria y nutricional, igualdad de género, salud y sostenibilidad ambiental. La ONU en el año 2010 declaró al agua y saneamiento como un derecho humano, teniéndose que disponer de agua potable y servicios de saneamiento asequibles y accesibles. La mala gestión medioambiental puede conllevar a problemas como mala calidad de agua, problemas de provisión de alimentos, inconvenientes de estabilidad climática [18]. Los residuos por ende

influyen en gran medida en inconvenientes relacionados con el agua, un mal tratamiento de estos conlleva a que los ecosistemas necesiten más cantidades de agua para recuperar su equilibrio.

2.2.2. ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico

Meta 8.4 *“Mejorar progresivamente, de aquí a 2030, la producción y el consumo eficiente de los recursos mundiales y procurar desvincular el crecimiento económico de la degradación del medio ambiente, conforme al Marco Decenal de Programas sobre modalidades de Consumo y Producción Sostenibles, empezando por los países desarrollados”* [19].

El objetivo principal de este ODS es la creación de puestos de trabajo decentes para todo el mundo que permitan lograr un crecimiento económico integrador y sostenible. Las principales adversidades son las vulnerabilidades de diferentes grupos de trabajadores como emigrantes, personas con bajo nivel de educación o personas con discapacidades. Para 2030 se pretende tener puestos de trabajo de calidad que estimulen la economía y que sean respetuosos con el medio ambiente [20].

Los puestos de trabajo deben tener implícitamente un compromiso medioambiental, donde se respete los recursos naturales y el entorno en el que se los desarrolle. Es por ello que se necesita una transición a conductas de consumo responsables; actualmente el consumo de materias primas per cápita tiene tendencias al alza [21].

3. Problemática de los residuos

La presente memoria se enfocará en la problemática de los residuos sólidos. Los residuos o desechos sólidos son un conjunto de materiales de origen orgánico e inorgánico que no cuentan con utilidad práctica para el fin que fueron producidos, son procedentes de diferentes prácticas tanto domésticas, comerciales, industriales y de todo tipo que generen las comunidades [22]. Los residuos sólidos orgánicos son los provenientes de materiales que en algún momento tuvieron vida o son derivados de procesos de transformación de combustibles fósiles, entre ellos se encuentran residuos de comida, residuos forestales, residuos agropecuarios, cartón, papel, textiles de fibras naturales, madera, plásticos, fibras sintéticas. Por su parte los residuos inorgánicos son los que por lo general provienen de procesamiento de recursos minerales, entre ellos están el vidrio, metales, residuos de construcción, escombros, tierras.

En [23] se realiza una clasificación más amplia de los tipos de residuos, agregándose los residuos de limpieza de espacios públicos, residuos de establecimiento de salud, residuos del sector de la construcción, residuos agropecuarios y residuos de instalaciones. De la misma forma define a los residuos sólidos como las sustancias, productos o subproductos que se encuentran en estado sólido o semisólido que su generador dispone con el fin de prevenir riesgos en la salud y el ambiente. Según la Ley de Residuos 10/98 se define a los residuos como: *“...cualquier sustancia u objeto perteneciente a alguna de las categorías que figuran en esta Ley (Residuos urbanos o municipales, Residuos procedentes de la limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas, residuos peligrosos), del cual su poseedor se desprenda y tenga la intención u obligación de desprenderse...”*[24].

Según el informe *“What a waste 2.0”* del *World Bank Group* la región que más residuos genera es Asia del Norte y Pacífico representando un 23%, Europa y Asia Central son la segunda región que más residuos genera con un 20%.

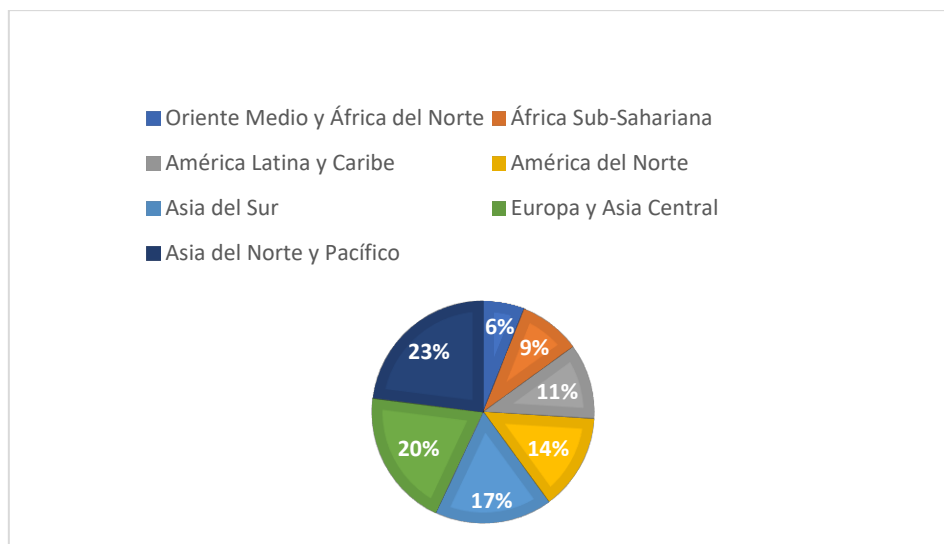


Fig.1. Porcentajes de residuos generados por región. Adaptado de [25].

En cuanto a toneladas de residuos generados por año (figura 2), la cantidad que se genera en la región de Asia del Norte y Pacífico iguala aproximadamente a las que se generan conjuntamente entre África y América Latina, mientras que Europa y Asia Central generan cerca del doble de lo que se genera en América Latina.

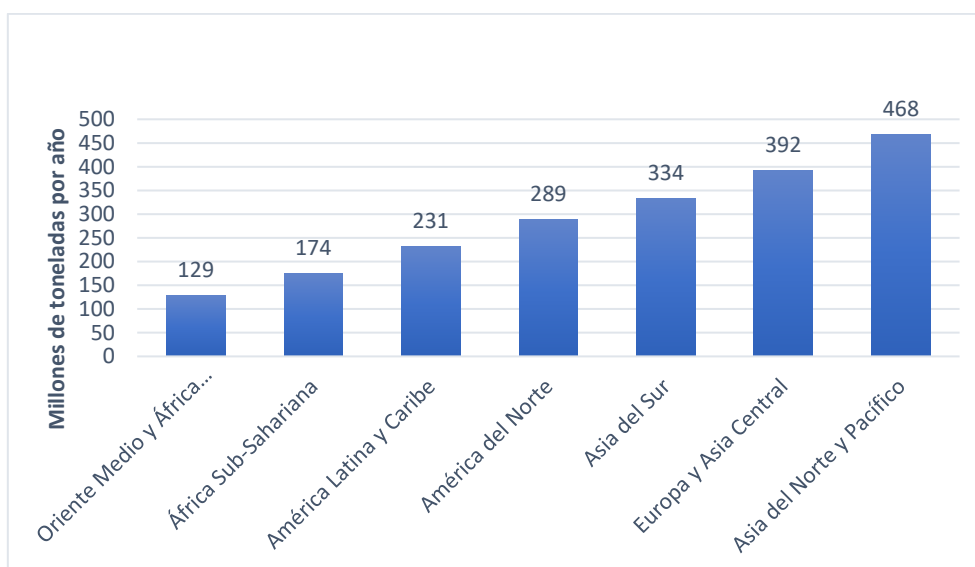


Fig.2. Cantidad de residuos generados por región. Adaptado de [25].

De la figura 3 se puede decir que, según las proyecciones de generación de residuos, la región que para el año 2030 tendrá un mayor crecimiento será Asia del Norte y Pacífico, seguido de Asia del Sur, por su lado Europa y Asia Central es la región que tendría el menor crecimiento entre todas las regiones. De las proyecciones para el año 2050 se puede observar que la región que tendría un crecimiento considerable sería África Sub-Sahariana en base a su generación histórica, de la misma forma para este año, se estima que Europa y Asia Central tendrían el menor crecimiento de generación de residuos.

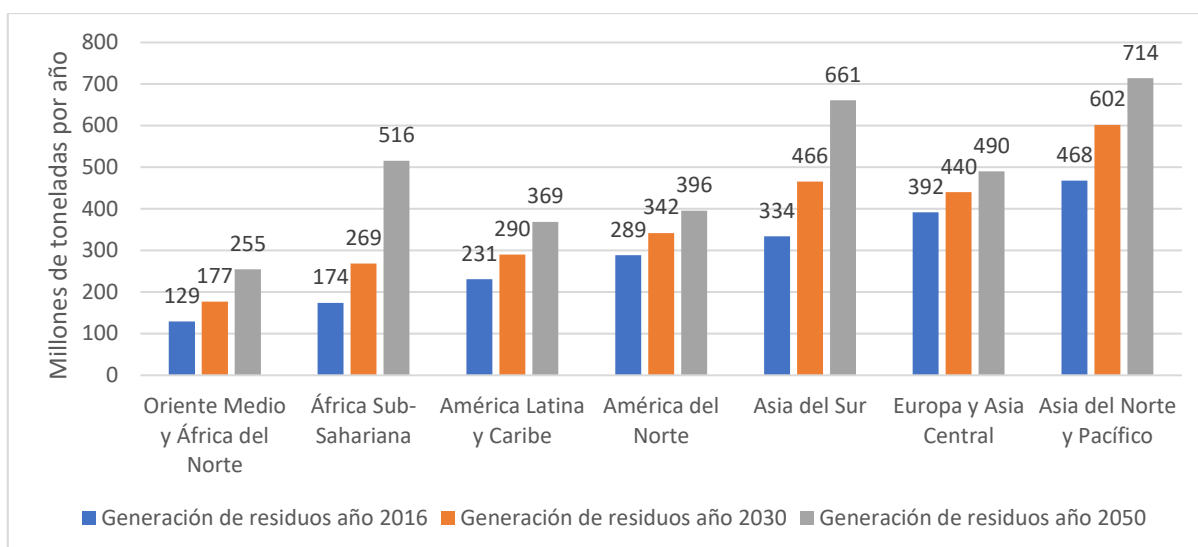


Fig.3. Proyección de generación de residuos por regiones. Adaptado de [25].

En términos de kilogramos per cápita por día en cada región (figura 4), se estima que para el 2050 la región que más residuos genere siga siendo América del Norte, seguida de Europa y Asia Central. América Latina y Caribe es la tercera región que mayores residuos per cápita genera y generaría para el 2030 y 2050.

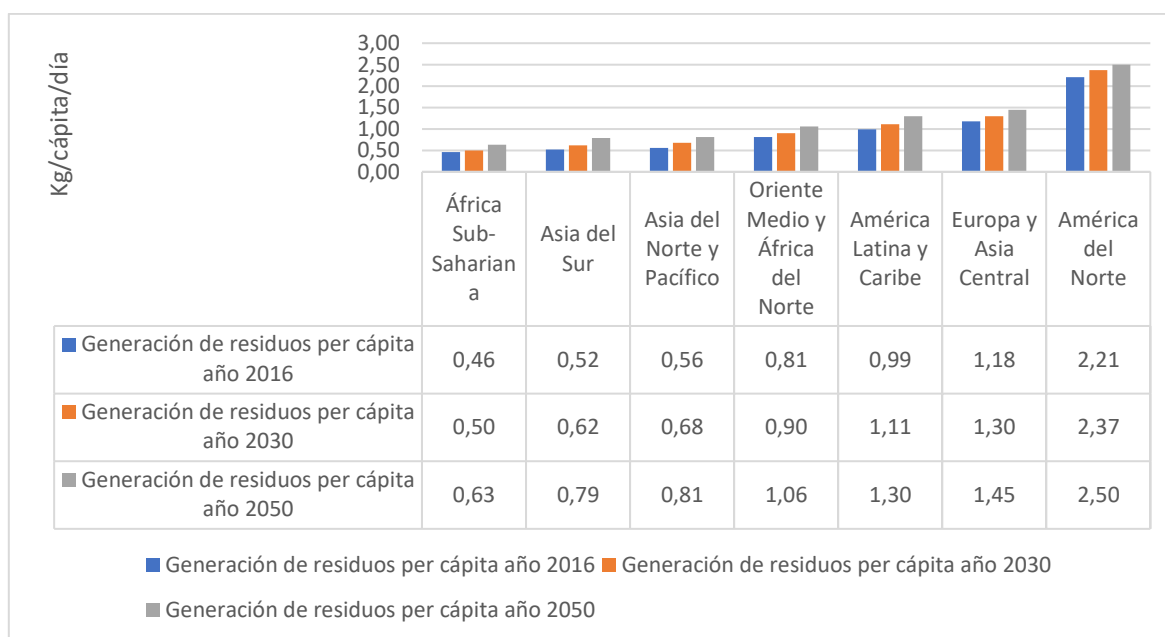


Fig.4. Proyección de generación de residuos per cápita. Adaptado de [25].

En base a datos de la oficina estadística de la Unión Europea (Eurostat) se presenta la cantidad de residuos en la UE (tabla 1), cabe recalcar que en estas estadísticas se toman todos los tipos de residuos (peligrosos, no peligrosos, químicos, ácidos, metálicos, líquidos, vegetales, etc.) por esta razón es que difieren en gran medida de los presentados con anterioridad a nivel mundial donde se presentaron solamente residuos sólidos.

Para la elaboración de la tabla 1 se han tomado los 15 países de la UE que más residuos generan por año y se la expresado en millones de toneladas. Se puede ver que el país que más residuos

genera y con una gran diferencia es Alemania, seguida de Francia. España ocupa la posición 10 entre los 27 países que conforman la UE.

Tabla 1. Generación de residuos en la UE (en millones de toneladas). Adaptado de [26].

Generación de residuos UE			
País	Año		
	2014	2016	2018
Bélgica	57,90	63,15	67,61
Bulgaria	179,67	120,51	129,75
Alemania	387,50	400,07	405,52
Grecia	69,76	72,33	45,59
España	110,52	128,96	127,98
Francia	324,46	322,69	342,39
Italia	157,87	163,83	172,51
Países Bajos	132,36	141,02	145,24
Austria	55,87	61,23	65,67
Polonia	179,18	182,01	175,14
Rumania	176,61	177,56	203,20
Finlandia	95,97	122,87	128,25
Suecia	167,03	141,63	138,67
Reino Unido	263,32	277,25	282,21
Turquía	73,08	75,53	97,29

En la figura 5 se puede apreciar de mejor manera los datos de la tabla 1. Se debe tener presente que la posición que ocupa cada país es relativa ya que depende de la densidad poblacional de cada uno de ellos. Se puede apreciar que la mayor cantidad de países tiene una tendencia creciente en la generación de residuos (11 de los 15 países presentados); un caso particular es Suecia que tiene tendencias a la baja.

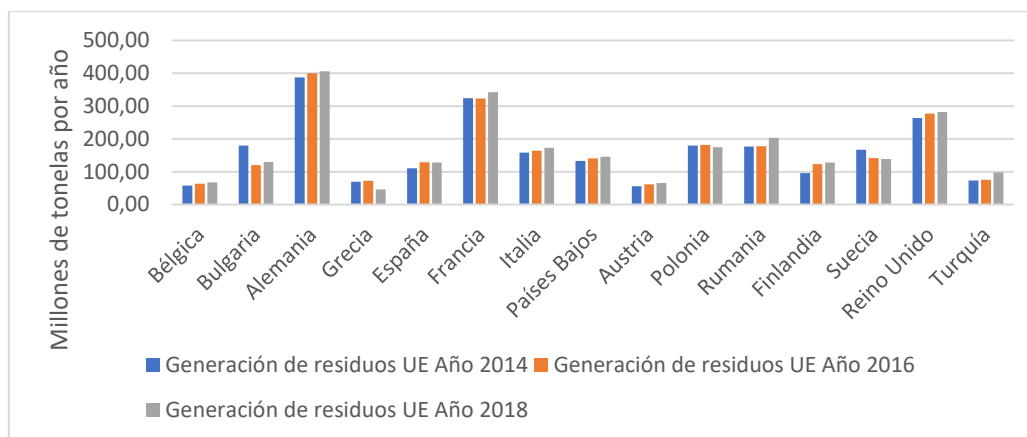


Fig. 5. Generación de residuos en la UE. Adaptado de [26].

Según el Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE), la generación de residuos en España en comparación con el promedio del resto de los países de la Unión Europea es mayor, aunque en los últimos años se ha ido igualando. En la figura 6 se puede apreciar la cantidad de residuos expresada en kilogramos por habitante.

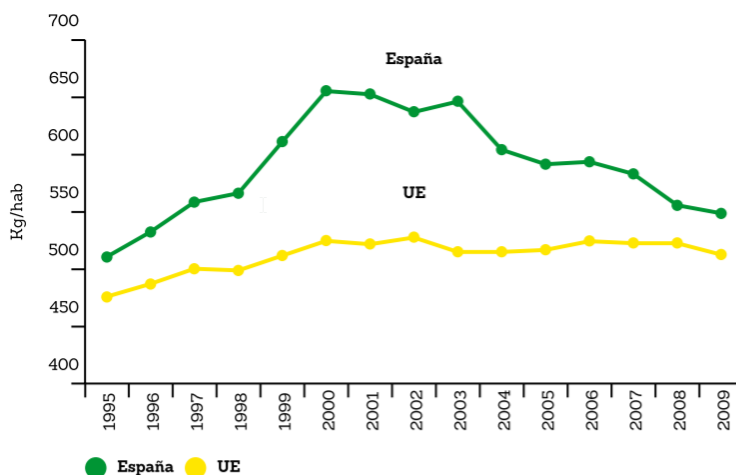


Fig.6. Evolución de la generación de residuos urbanos en España y la UE. Original de [27].

En España se puede realizar una comparativa entre comunidades autónomas, para ello se recurre a datos estadísticos del INE donde se muestran la cantidad de residuos recogidos per cápita para diferentes periodos. Para la elaboración de la figura 7 se han tomado los datos más actualizados y se puede observar que la comunidad de más residuos por habitante se recoge por año son las Islas Baleares, seguida de Canarias y Andalucía. La Comunidad de Madrid es la que menor índices tuvo en el año 2017. Según se puede observar no existe una tendencia establecida a la baja o al alza y cada año varía en cada comunidad.

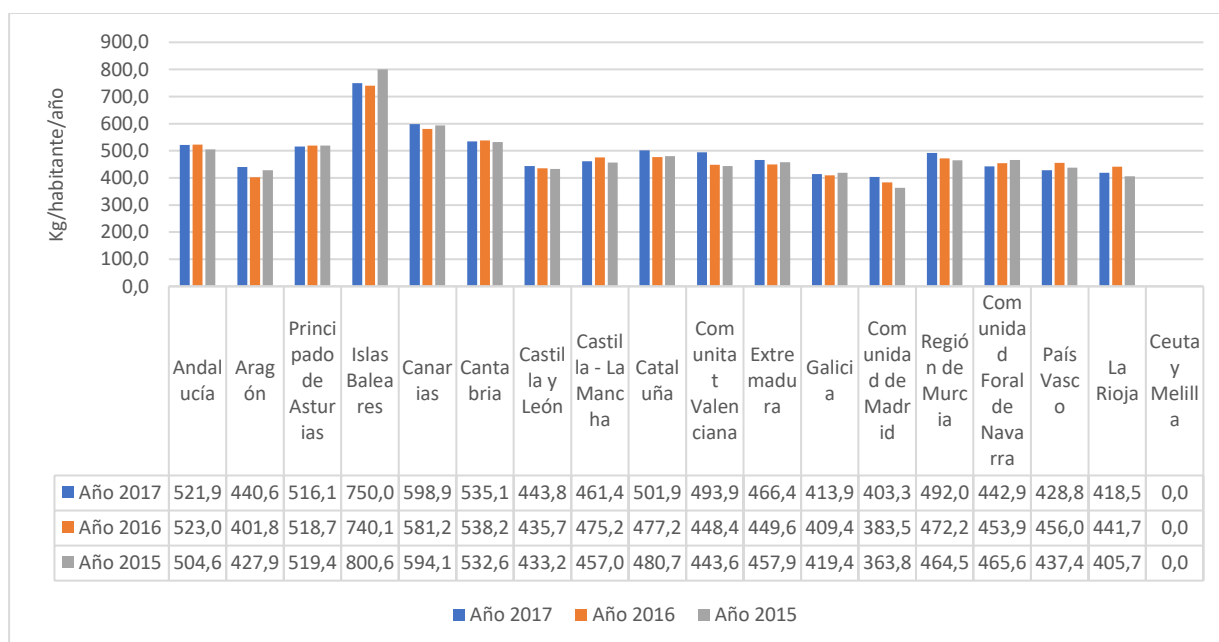


Fig.7 Cantidad per cápita de residuos recogidos por comunidades autónomas en España.
 Adaptado de [28].

Por otra parte, a los residuos sólidos se los puede clasificar dependiendo de su tipo, en la figura 8 se muestra un diagrama porcentual con los diferentes tipos de residuos que se generan a nivel

mundial. El mayor porcentaje recae sobre los desechos procedentes de comidas o alimentos, mientras que los residuos de papel tienen el segundo mayor porcentaje.

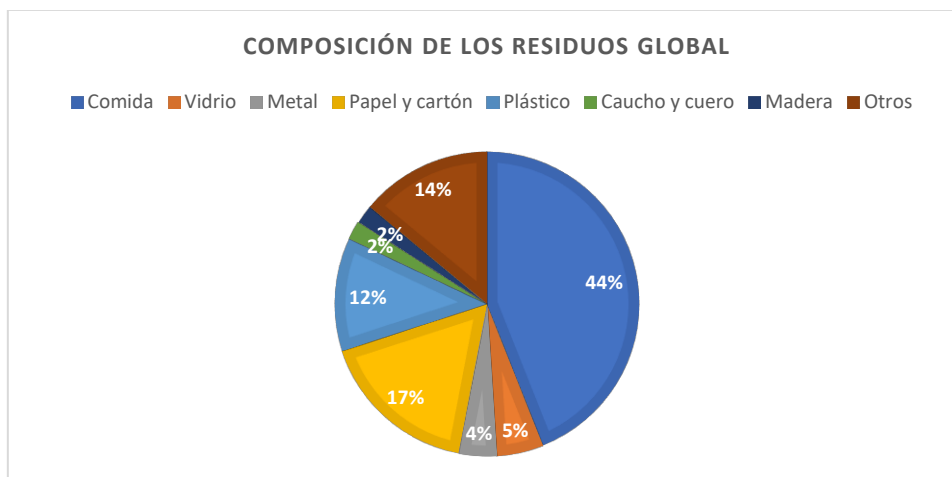


Fig. 8 Composición de residuos a nivel mundial. Adaptado de [25].

En la tabla 2 se indica la cantidad de residuos urbanos recogidos por tipo y por periodo. Estas cantidades se encuentran expresadas en toneladas. Se observa que la mayor cantidad de residuos son los domésticos, seguido de los residuos de papel y cartón; otros tipos de residuos considerables son los residuos de vidrio y los vegetales y animales; además de ser los más representativos entre todos los tipos de residuos que se recogen, los tipos de residuos mencionados tienen una tendencia incremental desde el año 2015. De esta forma, si se hiciera una extrapolación con los datos de años anteriores, tendríamos como resultado que los residuos van a seguir aumentando y ya depende de las acciones y los proyectos que se implementen para lograr tener una mejor gestión de estos, logrando incrementar los porcentajes de reciclado y disminuir el uso de materiales innecesarios y perjudiciales para el medio ambiente.

Tabla 2. Cantidad de residuos urbanos recogidos por tipo(toneladas). Adaptado de [29].

Composición de los residuos urbanos en España			
Tipo	Año		
	2017	2016	2015
Residuos domésticos y similares	17,457,709	17,141,367	17,106,176
Residuos domésticos voluminosos mezclados	814,281	910,708	647,373
Residuos metálicos	20,940	20,376	22,430
Residuos de vidrio	815,883	797,928	755,608
Residuos de papel y cartón	1,061,380	1,021,166	1,008,959
Residuos de plásticos	24,571	25,119	39,453
Residuos de madera	189,733	95,081	87,765
Residuos textiles	39,235	34,616	40,767
Residuos de componentes eléctricos-electrónicos	54,599	46,068	63,338
Residuos de pilas y acumuladores	1,780	1,920	3,687
Residuos animales y vegetales	876,822	835,703	789,919
Residuos de envases mixtos y mezclados	660,932	611,790	592,353
Residuos minerales	495,597	295,142	430,561
Otros	1,719	41,389	57,905

Por otro lado, si hablamos del tratamiento que se les dan a los residuos sólidos, estos pueden ser utilizados para compostaje, reciclado, vertido e incineración. En la tabla 3 se indica la

cantidad de residuos generados por tipo y la cantidad de estos que han sido procesados de diferente manera. Además, se puede observar los porcentajes de cada uno de dichos tratamientos, siendo el vertido de residuos el que mayor porcentaje representa con un 51,2 % del total de residuos generados, las tasas de reciclado y compostaje son muy bajas siendo del 18,3% y 17,8% respectivamente.

Tabla 3. Cantidad de residuos de competencia municipal recogidos en España en el 2017.
Adaptado de [30].

Tipo	Generado	Reciclado	Compostaje	Vertido	Incineración
Mezclas de residuos municipales	17,457,709	660,153	3,307,618	10,840,858	2,649,080
Papel y cartón	1,061,380	1,061,380	0	0	0
Vidrio	13,176	13,176	0	0	0
Residuos biodegradables de cocinas y restaurantes	610,043	0	443,046	105,115	61,882
Residuos biodegradables de parques y jardines	266,779	0	167,371	87,883	11,525
Envases mezclados	660,932	471,525	0	148,591	40,816
Envases de vidrio	802,706	802,706	0	0	0
Residuos metálicos	20,940	20,925	0	15	0
Residuos de plástico	24,571	17,337	0	6,573	661
Residuos de madera	189,733	166,05	0	2,878	20,805
Residuos textiles	39,235	24,047	0	14,395	793
Equipos desechados	54,599	48,264	0	6,335	0
Residuos de pilas y acumuladores	1,780	1,780	0	0	0
Residuos de mercados y voluminosos	814,281	814,281	0	50,774	17,913
Tierras y piedras de parques y jardines	0	0	0	0	0
Total	22,017,864	4,032,938	3,918,035	11,263,416	2,803,475
Porcentaje	100%	18,3%	17,8%	51,2%	12,7%

En la presente memoria al tratarse de una propuesta con nuevas herramientas, tecnologías y procesos, se planteará una solución a nivel de ciudad, es decir, se trabajará en base a un proyecto piloto centrado en la ciudad de Granada, esto permite definirlo y probar la viabilidad de las soluciones que se presentan. Los proyectos piloto locales permiten además comprobar la escalabilidad de los mismos y si estos se los puede extender a regiones más amplias. Es por ello que a continuación se presentan estadísticas de la ciudad de Granada.

Dentro del apartado de medio ambiente de la página web del Ayuntamiento de Granada se obtuvieron los datos presentados en la figura 9. Se puede observar que las cantidades indicadas del año 2020 son inferiores a los otros años debido a que falta de cerrar el último trimestre de este, los datos de residuos de ropa, pilas y aceite de 2020 son solamente los correspondientes a enero, mientras que los datos del resto de residuos del 2020 se encuentran hasta el mes de abril. Se observa que significativamente la fracción de restos representa el mayor porcentaje de residuos que se recoge en la ciudad seguida de la recolección selectiva. El papel y cartón se recogen en mayor cantidad que el vidrio y los envases. Además, se puede observar que desde

el año 2017 hasta el año 2019 la generación de residuos de todos los tipos se ha incrementado. No se cuenta con el dato de aceites recogido en el año 2017 por lo que no se refleja en la figura 9.

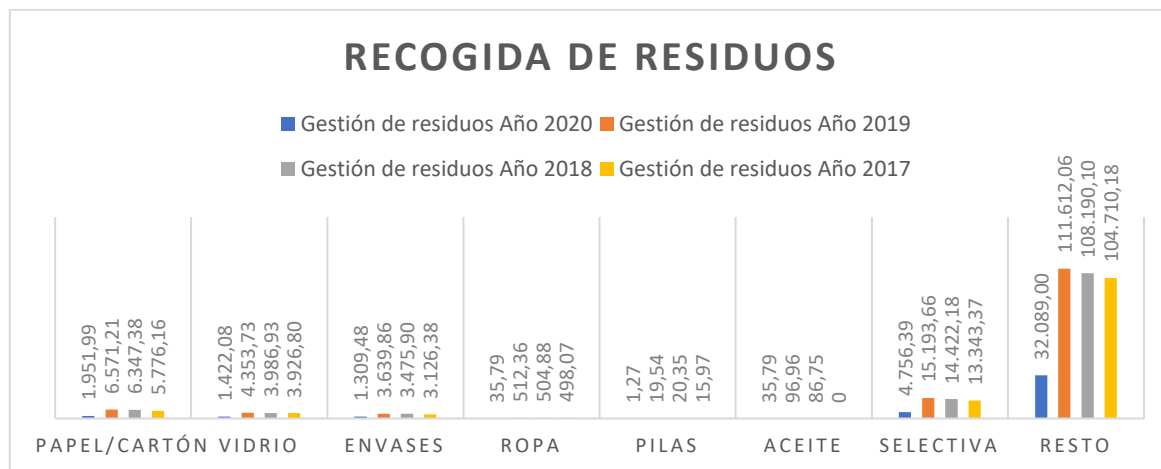


Fig. 9 Recogida de residuos en Granada (kg). Adaptado de [31].

En cuanto a la cantidad de residuos generados per cápita en los últimos años se puede observar la figura 10. Sin tener en cuenta el año 2020 que falta su actualización, el único año en el que se generó menos residuos que su antecesor fue el año 2017, por el resto, cada año cada persona genera más residuos.

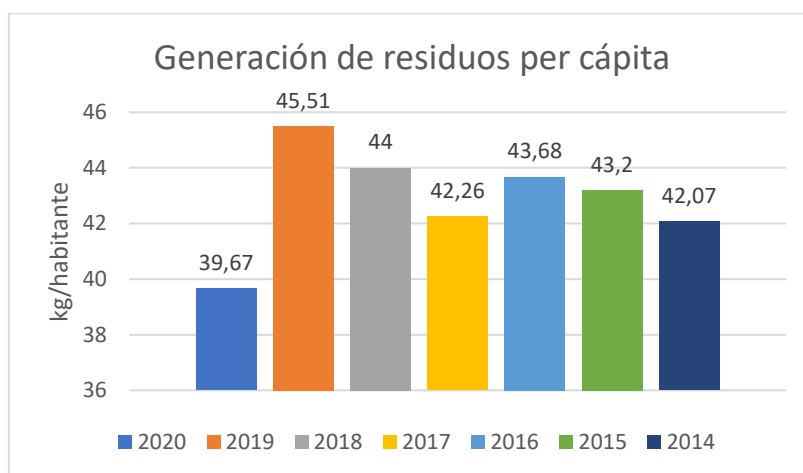


Fig. 10 Generación de residuos per cápita en Granada. Adaptado de [31].

Se puede detallar las estadísticas de recogida de residuos de la ciudad de Granada por sus barrios, para lo cual se ha recurrido a la página web de INAGRA (Ingeniería Ambiental Granadina S.A) que cuenta con estadísticas mensuales y anuales. En la tabla 4 se presentan los datos más actuales con los que se cuentan y son los correspondientes al año 2019.

Las estadísticas de recogida de residuos ayudan a evidenciar la cantidad de residuos que se genera en cada sector de la ciudad y que dependerá en gran medida del tamaño del barrio y de las actividades económicas que se generan en estos, teniendo de esta forma que los barrios en los que se recoge más residuos están: Zaidín – Vergeles, Camino Ronda, Figares, Centro-Sagrario. El contenedor del que más residuos se recogen es el de la fracción resto, seguida de la recolección selectiva. La columna “%reciclado” corresponde al porcentaje de reciclaje de los

residuos de la recolección selectiva y que según INAGRA se lo ha calculado en base a la cantidad de kilos reciclados de cada barrio divididos por el número de habitantes y día.

Tabla 4. Recogida de residuos selectiva por barrios en Granada en el año 2019 (kg). Original de [32].

Recogida de residuos por barrios año 2019						
Barrio	Envases	Papel	Fracción resto	Vidrio	Selectiva	% reciclado
Figares	279.997,89	670.052,97	8.300.066,70	410.051,03	1.374.180,87	14,20%
Castaño Mirasierra	123.969,83	182.873,86	2.828.266,94	159.186,24	470.378,83	14,26%
Cerrillo Maracena	125.978,02	201.290,23	2.549.057,81	74.465,28	406.087,58	13,74%
Camino Ronda	342.146,12	820.686,11	11.016.551,13	637.574,81	1.815.701,47	14,15%
Plaza Toros - Doctores- San Lázaro	96.935,89	217.250,97	2.712.945,34	135.534,90	453.357,85	14,32%
Rosaleda	51.991,53	94.758,30	1.369.556,34	50.347,41	199.459,39	12,71%
Centro - Sagrario	233.855,46	520.952,42	7.355.077,64	475.672,74	1.239.134,08	14,42%
Bola de Oro	34.711,40	45.884,50	679.873,93	26.354,96	107.852,65	13,69%
Cervantes	195.813,57	330.497,86	4.771.381,04	176.044,72	711.644,66	12,98%
La Cruz	204.666,31	301.588,52	4.518.925,09	155.072,78	668.327,89	12,88%
Carretera de la Sierra	88.285,92	128.213,91	2.066.745,64	81.222,32	301.029,14	12,71%
Zaidín - Vergeles	664.093,26	1.095.724,90	17.144.699,98	497.530,66	2.285.920,73	11,76%
Pajaritos	89.655,06	196.380,71	3.068.872,24	134.756,77	425.559,88	12,18%
SF Javier	77.921,32	90.962,01	1.579.467,31	54.104,60	225.756,29	12,51%
San Ildefonso	86.266,11	154.293,84	2.604.128,14	91.843,94	335.853,58	11,42%
Lancha del Genil	25.381,83	32.001,39	762.084,65	30.991,49	90.522,16	10,62%
Camino de los Neveros	90.003,01	113.479,81	1.862.619,89	54.581,23	261.263,70	12,30%
Albayzín	79.068,56	126.635,26	3.662.690,12	253.249,03	463.816,61	11,24%
Angustias - Chana - Encina	235.802,69	422.511,58	7.094.074,11	198.363,58	868.690,37	10,91%
El Fargue - Fargue	9.386,15	12.955,84	358.492,56	15.003,03	37.745,46	9,53%
Bobadilla	4.868,16	13.584,40	243.839,61	7.447,49	26.179,64	9,70%
San Matías - Realejo	124.616,64	271.640,10	7.135.649,20	406.328,13	809.374,32	10,19%
Haza Grande	27.959,11	33.822,11	719.599,98	13.051,00	76.248,21	9,58%
Joaquina Eguaras	145.669,00	179.409,58	3.999.705,75	105.396,60	436.560,18	9,84%
Campo Verde	32.898,27	40.598,98	1.173.965,39	25.189,39	100.217,05	7,87%
Sacromonte	3.871,08	6.310,45	259.661,56	16.606,77	27.186,81	9,48%
Parque Nueva Granada	32.900,32	45.232,42	1.066.082,58	18.012,59	97.924,49	8,41%
Casería Montijo	21.704,30	31.143,47	1.175.085,76	11.522,53	66.396,28	5,35%
Cartuja	51.258,57	87.280,82	3.693.880,95	28.000,61	171.541,30	4,44%
Almanjayar	25.990,09	54.662,74	2.437.227,00	20.774,43	104.684,12	4,12%
Rey Badis	21.767,82	18.846,85	1.474.285,78	4.442,69	46.657,83	3,07%
La Paz	8.386,72	29.683,10	1.920.879,85	6.086,23	45.124,70	2,30%
Total	3.637.820,00	6.571.210,00	111.605.440,00	4.374.810,00	14.750.370,10	11,67%

Dados los datos mundiales, regionales y locales de la generación de residuos, la gestión de estos resulta ser un tema muy importante que involucra a todos los entes de la sociedad en la que nos desenvolvemos. Todos los días se generan toneladas de desperdicios que necesitan ser tratados de forma eficiente. Para ello los gobiernos y las municipalidades han creado varias leyes que establecen la manera en que se deben tratar los residuos y con ello establecer buenas prácticas de desarrollo sostenible. A pesar de contar con leyes que establezcan lo que se debe o no hacer

con los residuos, existen factores que se escapan de las manos o que en su defecto no se cumplen a cabalidad. La sociedad no ha alcanzado un grado de compromiso con el planeta en el que se deje de consumir productos de comprar y tirar y tampoco ha logrado crear en ella una cultura de reciclaje.

Entre varios de los problemas ambientales que se crean con la generación de residuos se pueden mencionar los siguientes:

- La generación ascendente de residuos provoca que se transporte hacia los vertederos mucha más basura.
- Los residuos en los vertederos pueden generar contaminación del agua, suelo y aire.
- El proceso de recoger, transportar y tratar los residuos consume mucha energía que especialmente se la obtiene de combustibles fósiles y con ello se emiten gases contaminantes al planeta.
- Entre los residuos que se depositan en los vertederos existen muchos materiales que se pueden reciclar como el papel, aluminio, plástico, vidrio que al momento de ser depositados en los vertederos supone un despilfarro de recursos naturales.
- Si no se recuperan los materiales reciclables, es necesario talar más árboles o abrir más minas para obtener las materias primas.

En la figura 11 listan algunos de los problemas tanto ambientales, económicos, sociales y problemas sanitarios que se producen en consecuencia de la generación de residuos.

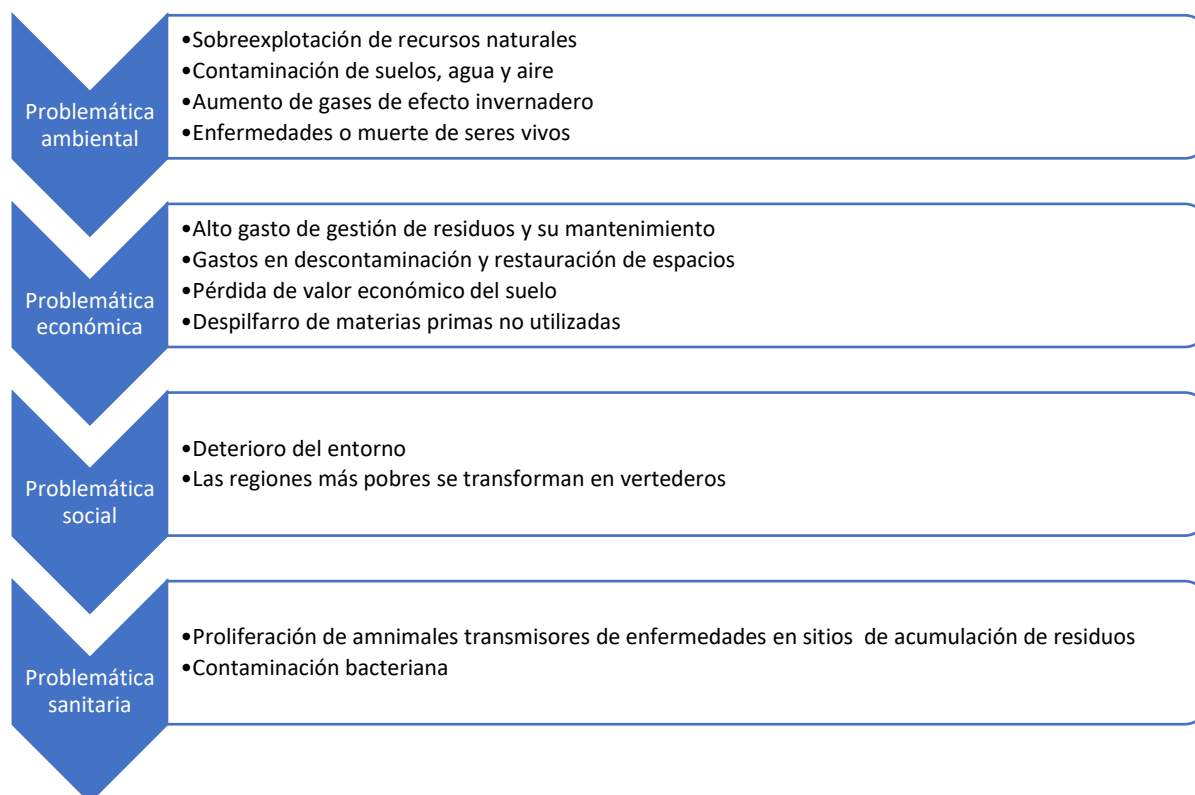


Fig.11 Problemática de los residuos. Adaptado de [33].

4. Soluciones presentes a la gestión de residuos

Un sistema integral de gestión de residuos sólidos aplica técnicas, tecnologías y programas de gestión para tener un control de todas las etapas que conforman el sistema. Entre los factores técnicos se puede tener las tasas de generación de residuos sólidos urbanos (RSU), la composición de los RSU y la capacidad tecnológica de la disponible. Por otro lado, entre los factores sociales y ambientales se tienen las particularidades de la comunidad y de la región (tamaño de la población, geografía), el impacto ambiental de la gestión (cantidades de dióxido de carbono generado, energía consumida para la gestión) y el potencial del impacto socioeconómico (desarrollo local, evaluación económica del impacto ambiental) [34].

En un sistema integral de gestión de residuos sólidos se realiza el control de la generación, almacenamiento, recolección, transferencia y transporte, tratamiento y disposición final de los residuos, en el mismo se incluye seguimientos administrativos que permitan tener una compatibilidad entre la salud pública, la economía, la ingeniería y el medio ambiente. La importancia de estos sistemas es lograr una revalorización de los residuos que permitan mejorar las condiciones medioambientales y poder incorporarlas a distintas actividades productivas.

La función de un sistema integral de gestión de residuos sólidos es lograr minimizar el volumen de residuos generado y administrarlos de tal forma que logren impactos positivos en el medio ambiente y en la salud pública, integrando todas las áreas que aportan al desarrollo sostenible, logrando una mejor conservación de las materias primas, una reducción de costos y generando valor agregado [34].

En España la gestión de residuos se da en tres niveles: nivel nacional, nivel regional y nivel local. En el nivel nacional el responsable es el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, éste deberá encargarse de los planes nacionales de gestión de residuos. En el nivel regional son las comunidades autónomas las responsables de crear los planes estratégicos de gestión de residuos para su región. Mientras que en el nivel local los responsables son las autoridades municipales las que se encargará de la gestión de residuos incluida la recogida y el transporte de estos.

En cuanto a los programas que en España se encuentran vigentes está el Programa Estatal de Prevención de Residuos 2014-2020 que pretende incidir en cuatro elementos claves: reducción de la cantidad de residuos, reutilización y alargamiento de la vida útil de los productos, reducción del contenido de sustancias nocivas en productos y materiales y reducción de los impactos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente [35]. Por otro lado, se encuentra el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022 que es un instrumento para establecer las políticas de residuos que se deberán aplicar en España en los próximos años, las mismas que permitan detectar las deficiencias existentes y proponer las mejoras necesarias; el objetivo de dicho plan es hacer que España haga un uso eficiente de los recursos y se logre la implementación de una economía circular [36].

El objetivo de la gestión de residuos para 2020 a nivel europeo y para los próximos años es lograr invertir las jerarquías de la gestión de residuos y con ello los porcentajes de actuación de gestión sobre ellos [35]. En la figura 12 se puede apreciar la situación actual en la que la eliminación de residuos tiene la mayor parte de la actuación de gestión de residuos. El objetivo es dar vuelta a la pirámide y que la prevención pase a ser la parte sobre la que se tenga mayores actuaciones de gestión, esto se lo realiza por el motivo que la prevención es la opción ambiental y económicamente más sostenible.

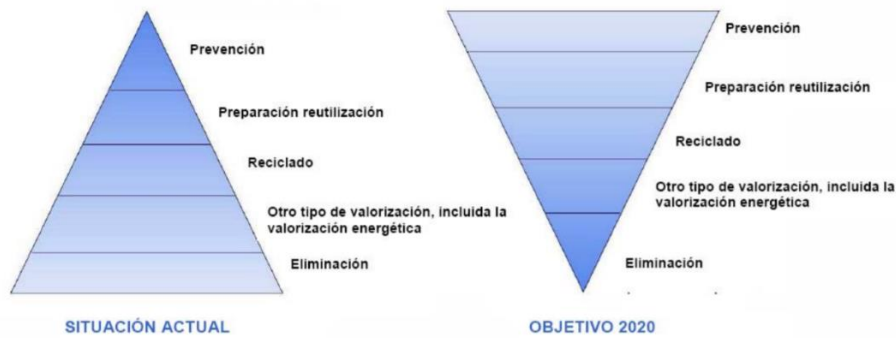


Fig.12 Jerarquía europea en la gestión de residuos. Original de [35].

De la pirámide, en los escalones inferiores a la prevención se cuenta con diferentes formas de gestión de los residuos, desde su forma de recogida hasta la forma en que se los elimina. A continuación, se describirá el tratamiento y el proceso que se da en la actualidad a los residuos, las diferentes técnicas y tecnologías que se disponen. En la figura 13 se tiene un esquema general del proceso de gestión que se lo divide en tratamientos, procesos y productos.

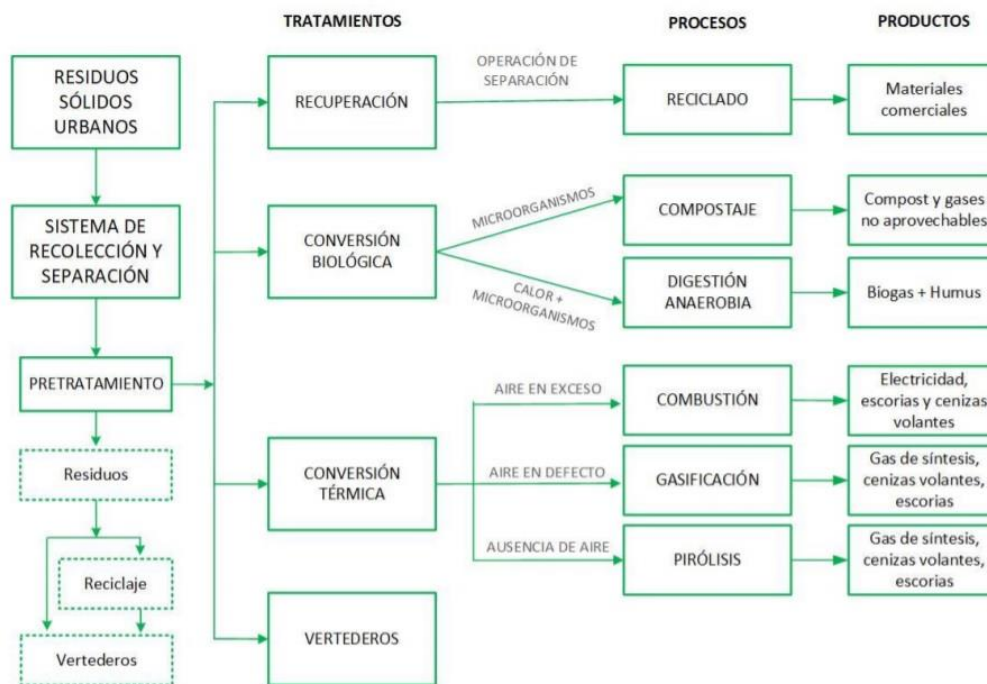


Fig. 13 Tratamiento de residuos. Original de [37].

4.1. Sistemas de recogida de residuos

Antes del tratamiento que se le da a los residuos está la forma en la que se los recoge, donde variará el método que se utiliza en base a los tipos de residuos y a las zonas en las que se encuentran. En la figura 14 se indican los diferentes tipos de recogidas que se tienen.

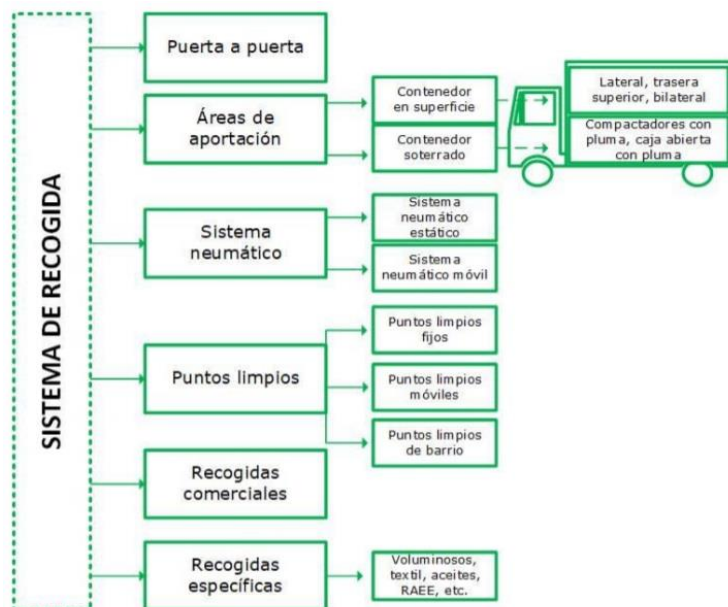


Fig.14 Sistemas de recogida de residuos. Original de [37].

4.1.1. Recolección puerta a puerta (PaP)

El sistema PaP consiste en ubicar los residuos en bolsas o pequeños contenedores en la parte delantera de los domicilios o comercios para su recogida dependiendo de un calendario semanal y un horario estipulado. Dependiendo del calendario se recogerán los diferentes tipos de residuos con lo que se tendrá una mejor separación de los residuos. Este tipo de recogida es recomendable para zonas de baja densidad poblacional, aunque en zonas más densas y con edificaciones verticales se puede realizar el mismo procedimiento, en este caso mediante contenedores comunitarios [38].

4.1.2. Áreas de aportación

Este es el sistema más extendido en toda Europa y consiste en contenedores de diferentes tipologías ubicados en la vía pública donde los ciudadanos tienen que desplazarse para depositar sus residuos separados. Existen contenedores de superficie y soterrados, que varían su capacidad dependiendo de la zona. La recogida de los residuos se da en horarios específicos y frecuencias adaptadas al llenado de los contenedores.

4.1.3. Sistema neumático

En este sistema se cuenta con buzones conectados a tuberías subterráneas donde, una vez depositados los residuos, desde el punto de captura se realiza la aspiración de estos. Los buzones se los puede instalar al interior de las viviendas, dentro de edificios o en áreas públicas exteriores. La aspiración de los residuos se puede hacer mediante un sistema estático o móvil. En el sistema estático se realiza la aspiración dependiendo de la planificación y del nivel de llenado de las válvulas, pasando los residuos de las válvulas a contenedores de gran tamaño donde quedan listos para su traslado a las plantas de tratamiento. Mientras que en el sistema móvil se cuenta con varias bajantes y contenedores donde cada uno de ellos cuenta con un punto de succión donde se conecta un vehículo que aspira los residuos de forma periódica [39].

4.1.4. Puntos limpios

Son centros de aportación y almacenamiento de residuos que por sus características no pueden ser recogidos por medios convencionales y está destinados para el uso principalmente de

particulares y pequeños comercios. Estos puntos limpios pueden ser fijos, en barrio o móviles. Los puntos limpios fijos suelen ser de gran capacidad y se encuentran ubicados en zonas no centrales de los municipios. Los puntos limpios de barrio suelen ser instalaciones de menor tamaño ubicadas dentro del casco urbano y repartidas por los diferentes barrios de los municipios y sirven de apoyo y complemento a los puntos limpios fijos. Mientras que los puntos limpios móviles son vehículos que cuentan con contenedores con varios compartimentos que realizan recorridos de acuerdo con un calendario preestablecido por diferentes barrios, principalmente por zonas en las que no sea factible la implementación de otros tipos de puntos limpios [40].

4.1.5. Recogidas comerciales

Este tipo de recogida está destinado a grandes productores y polígonos industriales, los cuales de la misma forma tendrá que realizar la separación de los residuos para su posterior recogida; además por ser generadores de grandes cantidades de residuos se aplican diferentes impuestos de recogida que dependen del peso y volumen generado. Existen cuatro modelos de aplicación a residuos comerciales: el modelo integrado que utiliza los mismos contenedores y logística de recogida de los ciudadanos y que está destinado a zonas de baja densidad de actividad económica, el modelo mixto que utiliza diferentes contenedores pero la misma logística de recogida que usa el ciudadano y que está destinado a zonas de densidad de población media y con cierta densidad de actividad económica, el modelo segregado que utiliza diferentes contenedores y logística de recogida que usa el ciudadano y que se encuentra destinado para zonas de alta densidad poblacional y actividad económica, y finalmente se puede tener una combinación de modelos en donde se los aplique en función de las necesidades de cada caso y en municipios que tengan combinación de zonas [41].

4.1.6. Recogida específica

En la recogida específica se puede usar varios sistemas de recogida, entre estos: recogidas a demanda, recogidas en equipamientos, recogidas en comercios y recogidas en puntos limpios. Este tipo de recogida está destinado para materiales y productos especiales entre los cuales se tiene: pilas, fármacos, aceites vegetales usados, RAEE (Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos), residuos voluminosos, textiles, escombros, residuos de poda y restos vegetales [42].

4.2. Recogida de residuos en España

En España para la separación de los residuos y para su recogida con los sistemas mencionados anteriormente, se utilizan contenedores de diversos colores y en cada uno de ellos se depositan cierto tipo de materia, lo cual se lo indica en la tabla 5.

Tabla 5. Tipos de contenedores y materias en España.

Color de contenedor	Tipo de materia
Amarillo	Envases de plástico y metálicos, briks
Azul	Envases de papel y cartón
Verde	Envases de vidrio
Marrón	Residuos biodegradables, desechos orgánicos
Gris	Resto: residuos que no se reciclan y tampoco pueden usarse para producir compost

La gestión de dichos contenedores se la acreditado a diversas empresas. Ecoembes es el encargado de gestionar los contenedores de color amarillo y azul, Ecovidrio se encarga del contenedor verde, Sigre se encarga de gestionar los envases y restos de medicamentos generados en los hogares y Sigfito se encarga de los envases agrarios.

En la memoria anual de 2019 de Ecoembes se indica que esta organización gestiona en España 390.611 contenedores amarillos y 224.945 contenedores azules que abastecen del servicio de recogida selectiva de 46.720.301 ciudadanos. En la tabla 6 se indica la cantidad de residuos que han reciclados en el año 2019.

Tabla 6. Cantidad de residuos reciclados en 2019 por Ecoembes. Adaptado de [43].

Material reciclado	Cantidad (toneladas)
Plástico	616.736
Metales (acero y aluminio)	249.420
Papel y cartón (incluye brik)	631.684
Madera	7.822
Total reciclado	1.505.661

Por otro lado, también se informa del histórico de la cantidad de residuos que los ciudadanos han depositado en el contenedor amarillo y azul desde el 2015 al 2019, esto se lo puede ver en las figuras 15 y 16 respectivamente. Claramente se aprecia la tendencia creciente que tienen las personas a depositar cada año más envases en los contenedores.

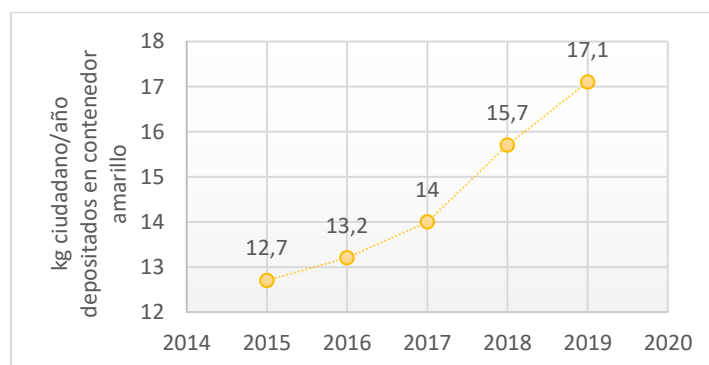


Fig. 15 Histórico kg ciudadano/año del contenedor amarillo. Adaptado de [43].

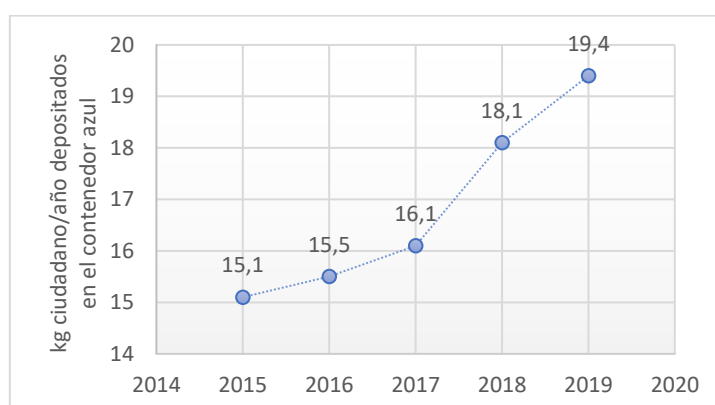


Fig. 16 Histórico kg ciudadano/año del contenedor azul. Adaptado de [43].

Por su parte Ecovidrio en su memoria anual de 2019 informa que actualmente se recoge un 30% más envases de vidrio que hace cinco años y lo han logrado gracias a los 230.950 contenedores distribuidos por toda España, esto significa que se tiene un contenedor por cada 204 habitantes.

Tabla 7. Datos de residuos gestionados por Ecovidrio. Adaptado de [44].

Año	Toneladas recogidas	Kg ciudadano/año
2017	789.235	17
2018	840.604	18
2019	896.664	19

En la tabla 8 se indica por comunidades autónomas el número de contenedores que se tiene y la cantidad de envases de vidrio que se recogieron en el año 2019.

Tabla 8. Datos por CCAA de contenedores y envases de vidrio recogido. Adaptado de [45].

Comunidad Autónoma	N.º de contenedores	Envases de vidrio (kg) recogidos
Andalucía	35.955	130.203.147
Aragón	6.891	20.814.776
Asturias, Principado de	4.692	17.343.740
Balears, Illes	5.774	47.537.485
Canarias	12.502	48.277.180
Cantabria	3.783	16.630.718
Castilla - La Mancha	9.670	31.530.201
Castilla y León	17.185	50.972.916
Cataluña	38.173	182.065.101
Ceuta	87	33.150
Comunitat Valenciana	25.241	98.149.483
Extremadura	5.558	11.380.450
Galicia	16.515	70.965.780
Madrid, Comunidad de	22.177	114.211.630
Melilla	294	395.290
Murcia, Región de	7.530	28.298.308
Navarra, Comunidad Foral de	5.693	17.381.551
País Vasco	11.425	63.275.124
Rioja, La	1.805	9.285.420
Recogida Complementaria	0	188.140
TOTAL	230.950	958.939.589

De la misma forma se puede especificar los datos que se tiene en Andalucía, donde la provincia que más contenedores y residuos de vidrio se recogen es Málaga. Granada es la cuarta provincia de Andalucía con más contenedores con un total de 3.950.

Tabla 9. Datos de Andalucía de contenedores y envases de vidrio recogido. Adaptado de [45].

Provincia	N.º de contenedores	Envases de vidrio (kg) recogidos
Almería	3.053	7.849.570
Cádiz	4.956	14.151.470
Córdoba	2.558	7.121.430

Granada	3.950	11.355.943
Huelva	2.743	4.933.665
Jaén	3.502	7.584.716
Málaga	7.830	31.585.020
Sevilla	7.363	24.516.743
Complementaria	0	11.763.720
Residuo urbano	0	9.340.870
TOTAL	35.955	130.203.146

Sigre informa que la cantidad de residuos de envases y restos de medicamentos generados en los hogares sigue una tendencia incremental desde el año 2013 hasta el año 2019. Los datos se indican en la figura 17 y se encuentran expresados en gramos por habitante por cada año. El funcionamiento de Sigre se basa en “Puntos SIGRE” ubicados en farmacias, laboratorios, almacenes de distribuidores colaboradores, en donde se puede depositar este tipo de residuos y que su recogida tendrá lugar el momento en el que se les suministre nuevos medicamentos, esto permite reducir la cantidad de dióxido de carbono generado por el transporte de residuos y además permite garantizar un control para evitar sustracciones o usos ilícitos. El porcentaje de reciclado que esta organización informa es del 55,21% de los envases.

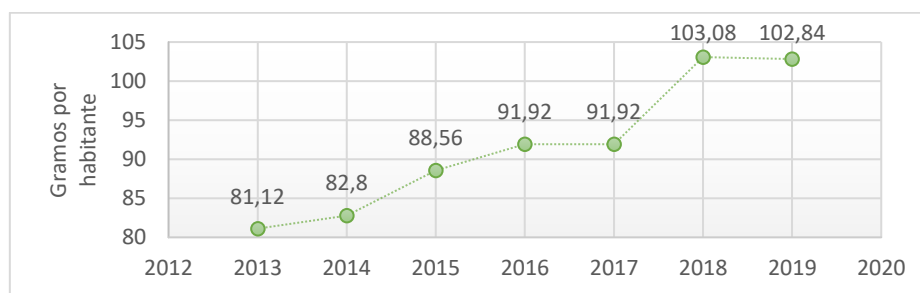


Fig. 17 Cantidad de residuos gestionados por habitante gestionado por Sigre. Adaptado de [46].

Sigfito es una organización que se encarga de la recogida y gestión de los envases agrarios y que cuenta con 142 empresas adheridas en toda España. En la figura 18 se muestra la cantidad de toneladas de residuos que han sido recogidos por año, la cual desde el año 2015 se ha incrementado debido a los 4.741 puntos de recogida con los que se cuenta. La organización informa en su memoria anual 2019 que 4.035 toneladas de plástico y 229 toneladas de metal fueron recicladas, mientras que 167 toneladas de papel fueron valorizadas.

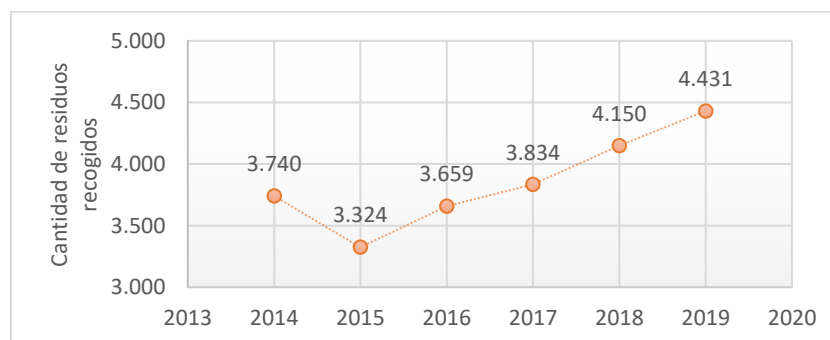


Fig. 18 Cantidad de toneladas recogidas por Sigfito. Adaptado de [47].

En la tabla 10 se muestran datos de Andalucía en el año 2019, tanto los kilos recogidos como los puntos Sigfito que se tiene en cada provincia de la comunidad.

Tabla 10. Datos de Sigfito en Andalucía. Adaptado de [47].

Provincia	Kilos recogidos	Puntos SIGFITO
Almería	263.360	108
Cádiz	97.200	44
Córdoba	255.240	162
Granada	126.660	113
Huelva	173.800	62
Jaén	266.860	222
Málaga	78.700	62
Sevilla	334.800	140
Total	1.596.620	913

4.3. Tratamiento de residuos

Una vez realizada la recogida de los residuos se realiza el transporte a las plantas de tratamiento que dependiendo del tipo de residuos será una distinta de otra. Entre las plantas de tratamiento se tiene: plantas de recuperación de residuos, plantas de conversión biológica de residuos, plantas de conversión térmica de residuos.

4.3.1. Plantas de recuperación de residuos

Estas plantas son las que permiten el reciclaje de los desechos sólidos realizándoles cambios físicos, fisicoquímicos o biológicos que permitan que los residuos sean convertidos nuevamente en materia prima o producto para su utilización. Entre los principales materiales que se desean reciclar son el plástico, papel, vidrio y metal. El proceso de reciclaje que siguen estos materiales se lo puede observar en la figura 19.



Fig.19 Proceso de reciclaje de diferentes materiales. Original de [37].

El papel se lo puede reciclar de menor o mayor calidad, si se cuenta con residuos de papel de calidad como el papel blanco, se lo puede transformar nuevamente en papel blanco de alta calidad. Si se tiene residuos de papel como periódicos viejos, papeles de oficina y cartón, el papel convertido será de peor calidad. Los papeles que cuentan con tintas se les debe aplicar lejía para su eliminación, lo que es un problema para el medio ambiente porque produce residuos de tinta tóxica [37].

El vidrio es un material que se lo puede reciclar al cien por ciento, por cada tonelada de vidrio se obtiene una tonelada de vidrio reciclado, además se puede reciclar indefinidamente debido a que gracias a las propiedades de su estructura no sufre deterioro en el proceso [37].

En los plásticos se tiene tres tipos de reciclaje, el reciclaje primario en el que los desechos plásticos se convierten en artículos con las mismas propiedades físicas y químicas a las del original, el reciclaje secundario es en el que se obtiene artículos con propiedades de calidades inferiores a la de los artículos originales y el reciclaje terciario en el que los residuos plásticos se convierten en compuestos químicos básicos [37].

En los metales se puede realizar una clasificación y reciclaje en ferrosos y no ferrosos. Entre los metales ferrosos se encuentra el acero y en los no ferrosos se encuentra el aluminio que su recuperación representa un elevado ahorro de energía y de materias primas [37].

4.3.1.1. Plantas de conversión biológica

4.3.1.1.a Compostaje

Las plantas de compostaje aplican un sistema de tratamiento de residuos orgánicos biodegradables que basan su funcionamiento en una actividad de microbiológica compleja, la misma que se la realiza bajo condiciones controladas y que genera un producto estable que puede ser almacenado sin ningún inconveniente. Para que los microorganismos generen un compostaje de calidad se necesitan tener una mezcla de residuos esponjosa que pueda retener agua correctamente y porosa para que permita la circulación del aire, presencia de oxígeno suficiente, humedad adecuada, temperatura adecuada y tener un óptimo equilibrio de nutrientes [48].

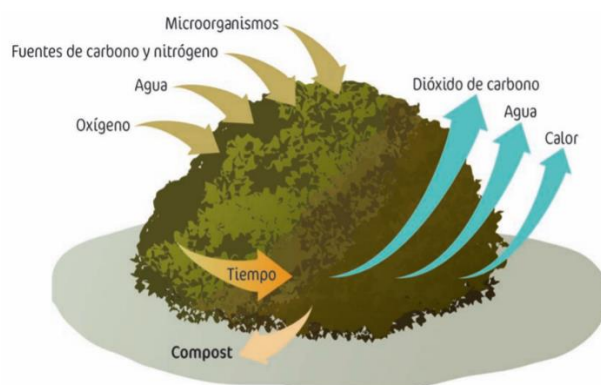


Fig.20 Elemento que intervienen en la creación de compostaje. Original de [48].

El compostaje pasa por tres etapas: la fase de descomposición en la que se cuenta con gran cantidad de materia orgánica biodegradable y donde se suministra suficientes cantidades de oxígeno para que los microorganismos realicen su actividad microbiana, la fase de maduración en la que ya no se tiene tanta materia orgánica biodegradable por lo que las cantidades de

oxígeno que se necesitan suministrar son inferiores y la fase final en la que ya se dispone del compostaje y donde de forma espontánea se mantienen condiciones de aerobiosis [48].

4.3.1.1.b Digestión anaerobia

En la digestión anaerobia, al contrario del compostaje, se realiza una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que genera una mezcla de gases, principalmente metano y dióxido de carbono. La materia prima que se utiliza para este proceso es cualquier biomasa residual que tenga alto contenido de humedad como los restos de comida, residuos de jardines, residuos ganaderos. El producto principal de la digestión anaerobia es el biogás el cual es una mezcla gaseosa de metano y dióxido de carbono y de pequeñas proporciones de elementos como nitrógeno, hidrógeno, oxígeno, sulfuro de hidrógeno. El biogás se puede utilizar como sustituto del gas de ciudad en aplicaciones como cocinas, alumbrado y calefacción. Además, la materia sobrante de la biodegradación puede ser utilizada para la fertilización de suelos. Una ventaja de disponer de biogás es que el mismo puede servir para satisfacer parte de las necesidades energéticas de las plantas de tratamiento [49].

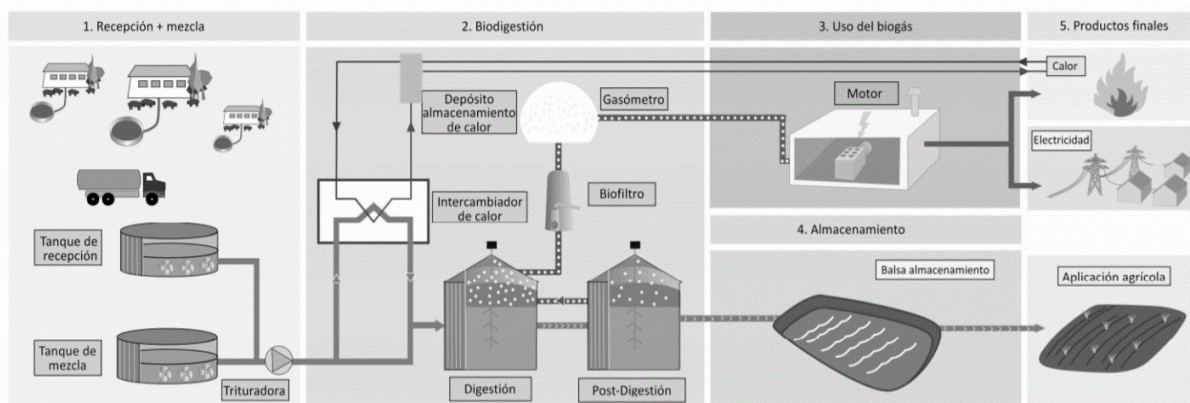


Fig. 21 Proceso de una planta de digestión anaerobia. Original de [50].

4.3.1.2. Plantas de conversión térmica

4.3.1.2.a Combustión

La combustión es una reacción en fase gas y que se la puede trabajar con sólidos, líquidos y gases. En la combustión de sólidos se generan dos fenómenos: la fracción volátil se desprende del sólido debido a la reacción química y la fracción de carbón remanente se quema como un sólido. Para la combustión se requiere de un exceso de oxígeno para maximizar su eficiencia y disminuir las emisiones derivadas del proceso. Los productos que se generan de la combustión son el vapor de agua y el dióxido de carbono, llamándose a esta una combustión completa, mientras que las emisiones que genera está el monóxido de carbono, cetonas, ácidos orgánicos, diversos hidrocarburos, en este caso se la llama combustión incompleta. En una planta con un incinerador bien diseñado, las cantidades de combustión incompleta son insignificantes [51].

En la figura 22 se muestra un esquema de una planta de combustión, donde se distinguen sus tres etapas principales: el horno de incineración donde se realiza el tratamiento de escorias y valorización o vertedero de este, la caldera en donde se realiza la recuperación de energía y la depuración de gases donde se realiza el control de las emisiones a la atmósfera.



Fig. 22 Esquema de una planta de combustión. Original de [52].

Entre las ventajas que presentan las plantas de combustión de residuos se tiene: se logra una reducción del volumen de residuos entre el 80 y 90%, se logra destruir tóxicos orgánicos, se puede recuperar energía, se puede controlar las emisiones de gases, no requieren grandes dimensiones [51].

Por otro lado, las desventajas de este tipo de plantas de tratamiento son: costos elevados de operación y mantenimiento, el personal requiere capacitación, se eliminan residuos que pueden ser potencialmente reciclados, se requiere equipos de control de emisiones de gases, se debe tener una disposición final de las escorias y cenizas generadas [51].

4.3.1.2.b Gasificación

Las plantas de gasificación de residuos utilizan una técnica de conversión termoquímica que consiste en el cambio de la estructura química de la biomasa a temperaturas entre los 500 a 900 °C ante la presencia de un agente gasificante como el aire, oxígeno, vapor, CO₂ o una mezcla de estos [53]. El productor principal de la gasificación es el gas de síntesis o *syngas* que de lo puede utilizar para la generación de energía o calor, a parte se genera un remanente sólido (escoria, cenizas o residuos de carbón). La gasificación aparte de someter a los residuos a altas temperaturas se debe los debe tratar en ambientes casi en ausencia de oxígeno para prevenir la combustión inmediata. La composición principal del *syngas* es el monóxido de carbono, hidrógeno y dióxido de carbono [54].

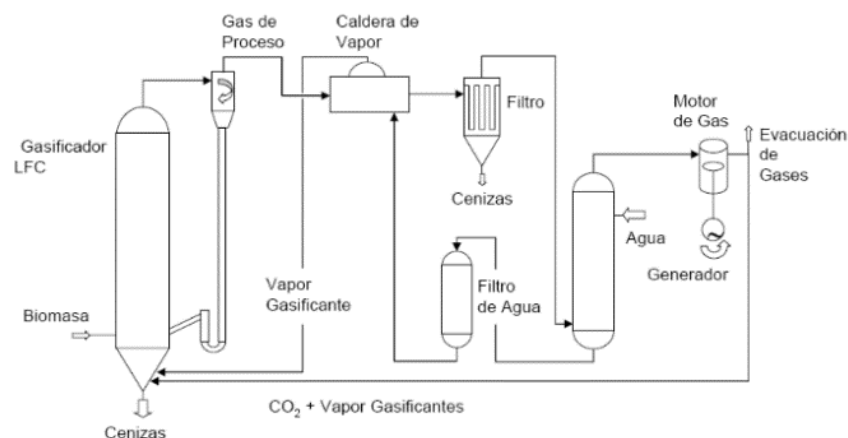


Fig. 23 Esquema de una planta de gasificación. Original de [55].

Entre las ventajas que presentan las plantas de gasificación de residuos esta: no produce contaminantes sulfurados o nitrogenados, el gas que se produce es de fácil almacenaje, la revalorización de los residuos e puede dar en forma de calor, gas de síntesis o electricidad, el gas que se produce puede ser utilizado como gas natural [55].

Por su lado entre las desventajas de estos sistemas esta: un 20 – 30% del peso de los residuos se convierte en ceniza, se presentan emisiones intensas de carbono y de compuestos orgánicos persistentes, problemas para mantener las temperaturas de reacción adecuadas, el control de las emisiones de contaminantes es compleja [54].

4.3.1.2.c Pirólisis

El proceso de la pirólisis consiste en la fragmentación de sustancias orgánicas como la biomasa (madera, aserrín, podas, virutas), aceites usados, plásticos, en condiciones de ausencia de oxígeno y temperaturas entre los 400 y 1000°C, donde se obtienen fracciones gaseosas, líquidas y sólidas aprovechables.

Por lo general el proceso de pirólisis se realiza en cilindros rotativos en donde los residuos son calentados en total ausencia de oxígeno, la fuente de calor necesaria para la reacción puede ser un combustible auxiliar que habitualmente se lo obtiene del mismo proceso [56].

En la figura 24 se tiene las partes en un proceso de una planta de pirólisis, los cuales son:

- A. Zona de descarga y trituración
- B. Pirólisis
- C. Recogida y selección de residuos procedentes del proceso
- D. Recuperación de energía
- E. Depuración de gases

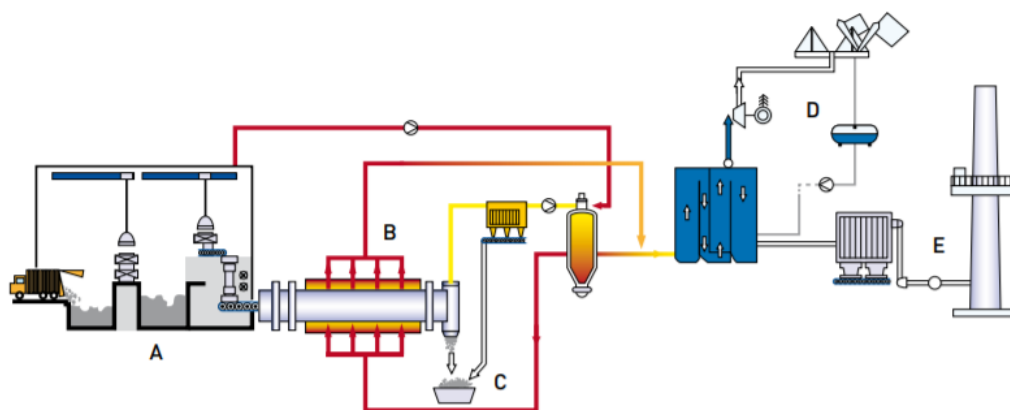


Fig. 24 Proceso en una planta de pirólisis. Original de [57].

4.3.2. Vertederos

Los vertederos o depósitos controlados son instalaciones que se las utiliza para la disposición de los residuos que ya terminaron su círculo económico y ya no se los puede reincorporar a la economía. En estos depósitos los residuos son puestos sobre un terreno y posteriormente se los cubre con tierra compactada. Un depósito controlado tiene que evitar los siguientes factores: contaminación de las aguas superficiales o subterráneas, arrastre de residuos ligeros y

formación de polvo, propagación de gases contaminantes, acceso de animales a estas zonas, y generación y propagación de incendios [58].

Entre los problemas que se generan cuando los depósitos no están perfectamente aislados es la filtración de líquidos provenientes de la descomposición de los residuos, estos líquidos se llaman lixiviados y pueden llegar a contaminar los depósitos de agua. Por otro lado, cuando la materia orgánica se fermenta se producen reacciones químicas que producen gas metano que es una sustancia muy nociva [59].

Dependiendo del tipo de residuos que se vayan a depositar en los vertederos, se recomienda crear capas de diferentes materiales para evitar la filtración de sustancias nocivas. Así entre las capas que se tiene en un depósito controlado están: capa geotextil de filtro, capa de drenaje grava, geotextil de protección, geomembrana PEAD (Polietileno de alta densidad), impermeabilización mineral, terreno natural. En la figura 25 se puede observar la disposición de las diferentes capas dependiendo del tipo de residuo que se deposite.

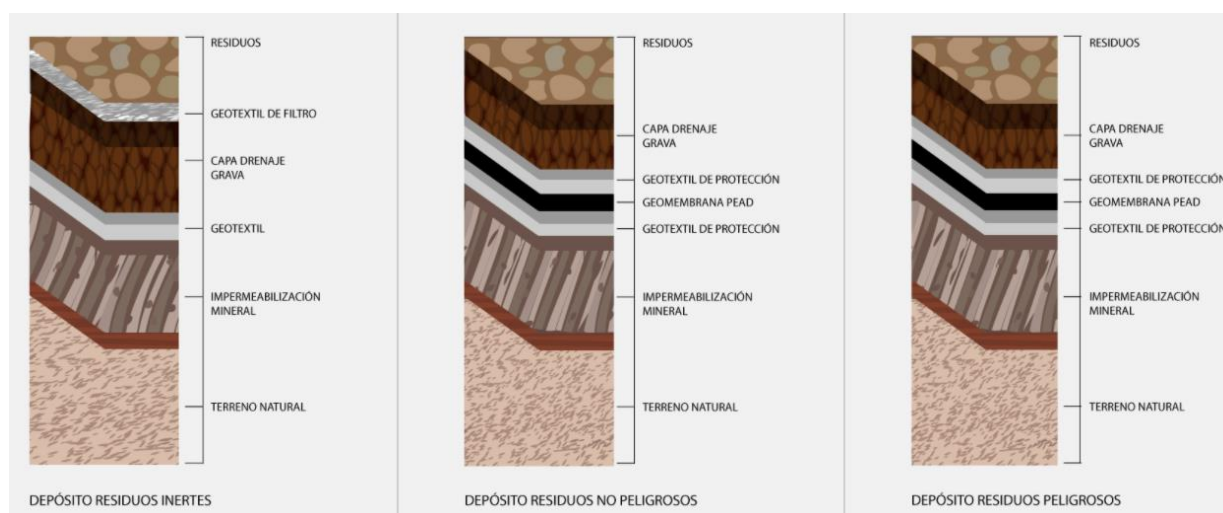


Fig. 25 Capas en un depósito controlado dependiendo del tipo de residuo. Original de [59].

4.4. Tratamiento de residuos municipales en España

En España los residuos de competencia municipal usan varias de las técnicas y procesos indicados anteriormente. En la figura 26 se muestra el proceso que siguen los diferentes tipos de residuos de competencia municipal. Los residuos mezclados se los puede enviar a plantas de incineración de residuos con o sin recuperación energética o se los puede enviar a plantas de tratamiento mecánico biológico, los residuos de envases se los envía a plantas clasificadoras de envases, los residuos FORS (Fracción orgánica de residuos de competencia municipal recogidos separadamente) se los envía a plantas de compostaje y digestión anaerobia, mientras que los residuos de vidrio y P/C (papel/cartón) se hace un reciclaje directo del material. A parte, se puede apreciar en la figura, y exceptuando el vidrio y P/C que, pasado el tratamiento principal, los residuos restantes del proceso pueden pasar a las etapas de incineración, compostaje o finalmente llegar al vertido.

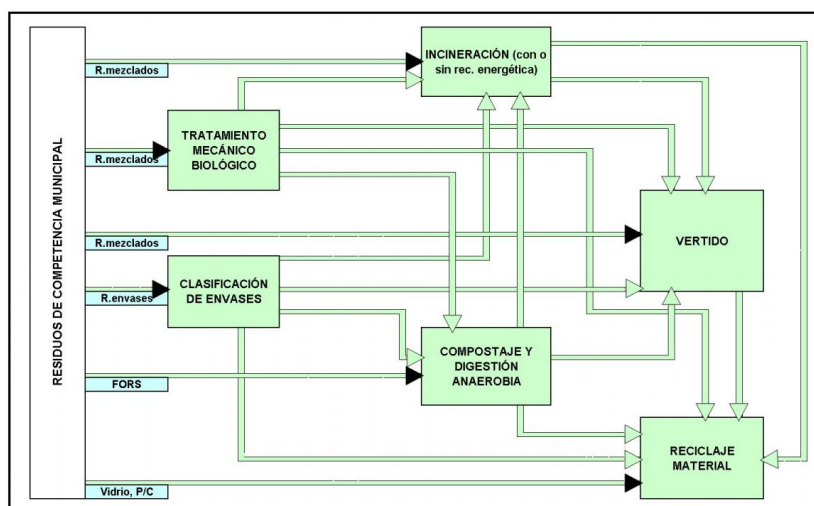


Fig. 26 Tratamiento de residuos de competencia municipal en España. Original de [30].

Por otra parte, se presentan datos del número de las diferentes plantas de tratamientos que existían en España en el año 2017, los mismos se pueden ver en la tabla 5. En la misma tabla también se tiene la cantidad de toneladas por año que se tratan en estas. Los vertederos son la mayor cantidad de instalaciones y la cantidad de residuos que llegan a estas por año es muy superior al resto.

Tabla 5. Residuos de competencia municipal tratados según tipo de instalación en 2017.
 Adaptado de [30].

Instalaciones de tratamiento de residuos	N.º de instalaciones	Entrada (t/año)
Instalaciones de clasificación de envases	92	660.932
Instalaciones de triaje	6	1.052.138
Instalaciones de compostaje FORS	43	417.863
Instalaciones de triaje y compostaje	66	8.617.873
Instalaciones de triaje, biometanización y compostaje FORS	8	260.761
Instalaciones de triaje, biometanización y compostaje	21	3.184.152
Instalaciones de incineración	10	2.475.629
Vertederos	116	11.657.901

Para Granada se cuenta con datos de la diputación en la que se detalla la cantidad y los tipos de plantas de tratamiento con los que se cuenta en la provincia, los mismos se los puede apreciar en la figura 27. Se cuenta con nueve plantas de transferencia que permite dar servicio a las poblaciones que se encuentran alejadas de las plantas de tratamiento mecánico-biológico (TMB). Se tiene dos plantas TMB: la Ecocentral Granada que se encuentra en Alhendín y el Complejo Medioambiental Vélez de Benaudalla, en las mismas instalaciones se cuenta con vertederos de los rechazos de las plantas TMB. Además, se tiene dos plantas de tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD's) y una planta de tratamiento de residuos vegetales de invernaderos ubicada en Motril.

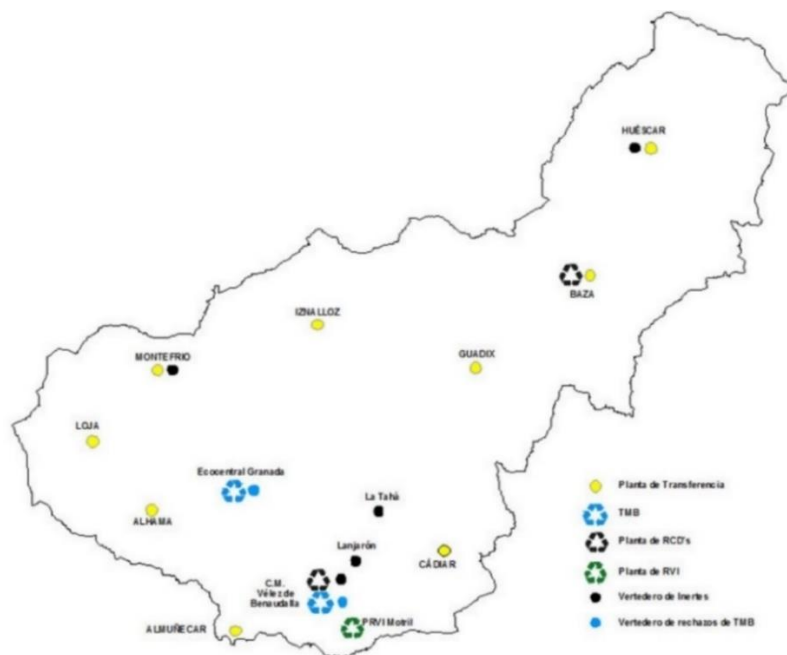


Fig. 27 Instalaciones de tratamiento de residuos en la provincia de Granada. Original de [60].

5. Ciudades inteligentes y tecnologías emergentes

Un término que en los últimos años ha ganado relevancia es el de las ciudades inteligentes, el que surge con la aparición de las nuevas tecnologías y la forma en que se las gestiona para crear ciudades que respondan a las necesidades de sus habitantes. Las ciudades inteligentes tienen la finalidad de crear un desarrollo urbano sostenible en el ámbito económico, social y medioambiental basándose en la innovación, infraestructura y en las tecnologías de la información y comunicación (TIC). En las ciudades inteligentes se busca una interconexión entre las diferentes áreas de una ciudad: movilidad, medio ambiente, economía, gobernanza, energía, seguridad, sanidad; mediante un conjunto de software y hardware que permite la transmisión de datos e información a centros de control y gestión que se encargan de la toma de decisiones.

El grupo técnico de Normalización de AENOR y como se lo informa en el Plan Nacional de Ciudades Inteligentes en [61] propone la siguiente definición para ciudad inteligente:

“Ciudad inteligente (Smart City) es la visión holística de una ciudad que aplica las TIC para la mejora de la calidad de vida y la accesibilidad de sus habitantes y asegura un desarrollo sostenible económico, social y ambiental en mejora permanente. Una ciudad inteligente permite a los ciudadanos interactuar con ella de forma multidisciplinar y se adapta en tiempo real a sus necesidades, de forma eficiente en calidad y costes, ofreciendo datos abiertos, soluciones y servicios orientados a los ciudadanos como personas, para resolver los efectos del crecimiento de las ciudades, en ámbitos públicos y privados a través de la integración innovadora de infraestructura con sistemas de gestión inteligente.”

Según [62] las ciudades inteligentes tienen que enfocarse en cuatro puntos importantes:

Ser sostenibles: aplicar tecnologías para lograr optimizar el consumo de recursos y reducir los costos de su utilización.

Ser inclusiva y transparente: contar con canales de comunicación con los ciudadanos, tener sistemas de datos abiertos y permitir tener un registro de las finanzas.

Ser generadora de riqueza: con la infraestructura y tecnología que se incorpore a la ciudad se debe generar empleos de alta calidad y permitir la innovación y el crecimiento de los negocios.

Ser diseñada para los ciudadanos: hacer uso de la tecnología para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y optimizar los servicios públicos que permitan a las personas tener un acceso más rápido y eficiente a los mismos.

5.1. Ámbitos de una ciudad inteligente

Son varias entidades, organismos públicos, sectores privados, administraciones locales, las que coinciden que se existen ámbitos de acción en los que trabajar para que una ciudad sea considerada como inteligente. En el marco de la Unión Europea, la Dirección General para políticas internas del Parlamento Europeo establece que una ciudad para ser considerada como ciudad inteligente debe tener por lo menos una iniciativa dentro de las siguientes temáticas: *Smart People, Smart Environment, Smart Movility, Smart Governance, Smart Economy, Smart Living* [63]. En la figura 28 se indica los campos dentro de cada una de estas temáticas en las que se podría actuar.

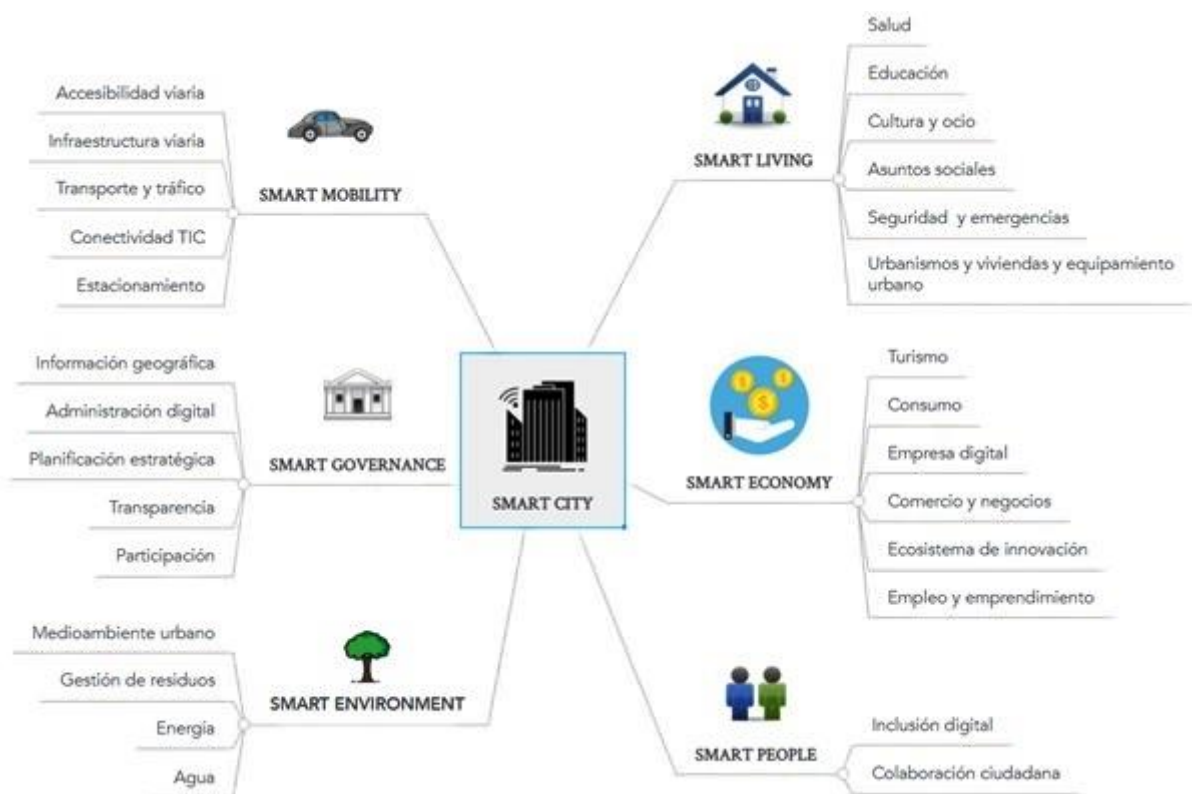


Figura 28. Ámbitos de implicación de una ciudad inteligentes. Adaptado de [64]

5.1.1. Smart Mobility

Por lo general se trata a la movilidad inteligente como mejoras en el tráfico de las ciudades, pero esto es solo una parte de todo lo que se podría trabajar en este tema; también se puede tratar las infraestructuras viarias, conectividad TIC, estacionamientos, accesibilidad viaria, sistemas de información al pasajero, seguridad, almacenamiento y análisis de datos. En [65] se dice que la diferencia entre movilidad y movilidad inteligente es poder tener acceso a datos

públicos en tiempo real que permitan la mejora de los viajes con la optimización de tiempos, ahorro de dinero y reducciones en las emisiones de dióxido de carbono. Los retos que se tiene en movilidad inteligente son: movilidad sostenible, movilidad inclusiva, sistemas de movilidad multimodal (posibilidad de que los ciudadanos o las empresas cambien de un medio de transporte a otro), movilidad no motorizada, reducir la congestión de tráfico y reducir las emisiones

A continuación, se exponen varios campos en los que la movilidad inteligente puede estar presente:

5.1.1.1. Gestión del tráfico

la gestión del tráfico en una ciudad inteligente consigue, mediante una organización inteligente, que los flujos de tráfico sean menos densos, más fluidos y seguros. A través de las TIC se puede implementar varios sistemas de gestión como las zonas de aparcamiento inteligentes mediante el uso de sensores ubicados en la calzada o cámaras que monitorizan los lugares disponibles para aparcar; también se puede contar con sistemas de gestión, monitorización y control de tráfico, semaforización que actúe en función del nivel de congestión en las calles o la posibilidad de activar la utilización de arcones en situaciones de saturación de tráfico. De esta forma se puede dividir la gestión del tráfico de la siguiente manera: gestión de los flujos de tráfico, gestión de las incidencias, manejo de la seguridad e información al viajero en tiempo real [66].

5.1.1.2. Transporte público

Las alternativas inteligentes se las puede aplicar a todo tipo de transporte público (autobuses, trenes, metros, o cualquier tipo de transporte de propiedad pública) que permitan la optimización de procesos, aumentar la seguridad y la calidad de los servicios, reducción de los tiempos de recorridos y con ello la reducción de emisiones y el consumo de energía. Entre las opciones que se pueden plantear esta la planificación de los viajes, aplicaciones de información en tiempo real para los usuarios, sistemas de monitoreo y seguridad, seguimiento de flotas, soluciones de datos abiertos y modos de pago integrado [66].

5.1.1.3. Logística

Un punto importante en la movilidad inteligente en una ciudad es poder tener una gestión de los flujos logísticos de las flotas que realizan la distribución de mercancías por las zonas urbanas, que aunque no suponen un gran porcentaje del tráfico en las carreteras europeas (10% del tráfico total en las carreteras europeas) sí que representa un buen porcentaje de las emisiones de dióxido de carbono (20% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero). Para lograr mejores resultados en la logística, se pueden realizar las siguientes acciones: mejorar la capacidad de seguimiento y trazabilidad de las mercancías, gestionar las flotas, gestionar el almacenamiento y tener una multimodalidad en la logística [66].

5.1.1.4. Opciones de movilidad limpia y no- motorizadas

El fin que se persigue es sustituir el uso de los combustibles convencionales por energías renovables, aumentar el uso de transporte público de calidad y realizar una buena planificación urbana que permita el desplazamiento seguro a pie o en bicicleta. Entre las soluciones *smart* que se pueden tener en cuenta esta la utilización de vehículos eléctricos y la dotación de infraestructuras para su carga, regulaciones que impongan tasas para los que utilicen vehículos contaminantes, sistemas de alquiler de bicicletas, monitoreo del tráfico peatonal para el diseño de vías de movilidad (pasos y zonas peatonales, ciclovías), sistemas de *carpooling* (compartir

un vehículo con otras personas para desplazamientos puntuales o viajes periódicos) o sistemas de *car sharing* (alquilar un vehículo por cortos periodos de tiempo) [66].

5.1.1.5. Accesibilidad

Se debe permitir que los ciudadanos de diferentes condiciones sociales, culturales, económicas y físicas tengan acceso en las mismas condiciones a los sistemas de transporte, comunicación e información. Se pueden tomar varias soluciones inteligentes que permitan que los sistemas sean accesibles, por ejemplo, que se realicen los cobros del transporte dependiendo de los ingresos de las personas, incorporar a los sistemas de transporte de mecanismos que faciliten el uso del servicio para personas discapacitadas y de tercera edad, información en diferentes formas (visual, auditiva, táctil) en el transporte para la comprensión de todas las personas con dificultades físicas [66].

5.1.1.6. Multimodalidad

En este campo se permite que se integren nuevos modos de transporte público o privado para satisfacer las necesidades de movilidad de los ciudadanos y de las mercancías de manera óptima. Lo que se pretende es lograr tener sistemas de transporte efectivos que permitan a los usuarios tener una amplia gama de opciones para su transporte y que los mismos cumplan con las mismas o mejores condiciones que se tendrían con los sistemas tradicionales [66].

5.1.2. Smart Governance

En [67] se dice que la gobernanza inteligente es una dimensión de las ciudades inteligentes donde se abordan temas relacionados con la participación política, los servicios a los ciudadanos y el funcionamiento de la administración local. La gobernanza inteligente puede considerarse como el núcleo de una ciudad inteligente donde las tecnologías, personas, buenas prácticas, recursos y la información permiten al gobierno tomar las mejores decisiones hacia una ciudad inteligente.

Según [68] existen dos términos relacionados pero que su significado es diferente, estos son el gobierno inteligente (*smart government*) y la gobernanza inteligente (*smart governance*). Se dice que el gobierno inteligente es el que invierte en tecnologías emergentes junto con estrategias innovadoras que permitan lograr estructuras de gobierno y gobernanza ágiles además de infraestructuras resilientes. También se define al gobierno inteligente como el uso extensivo por parte del gobierno siguiendo las tendencias de los datos abiertos y la ubicuidad de la tecnología que permitan tener un mejor conocimiento de los problemas sociales y mejorar las relaciones con los ciudadanos, organizaciones privadas, ONG (Organizaciones No Gubernamentales), y otros gobiernos. Por su parte la gobernanza inteligente se la define como la capacidad para aplicar las tecnologías digitales y actividades inteligentes en la toma de decisiones y procesamiento de información.

Se plantean ocho áreas que son esenciales para una gobernanza inteligente:

1. Control y eficiencia presupuestaria: lograr una reducción de los gastos en líneas generales, pero conservar el presupuesto destinado a proyectos y áreas que resultan importantes para la ciudad [69].

2. Digitalización de la administración: mediante el gobierno electrónico (*e-government*) que consiste en usar dispositivos tecnológicos de comunicación para brindar servicios públicos a los ciudadanos, lograr digitalizar por completo la administración tanto internamente como para los ciudadanos [69].

3. Seguridad y privacidad: aparte de fomentar los datos abiertos, los gobiernos locales tienen que brindar la seguridad y privacidad de los datos que los ciudadanos generen o utilicen [69].

4. Conectividad y sensorización: crear redes de sensores y recolección de información de los diferentes servicios públicos de la ciudad mediante infraestructuras de red que permitan a los gobiernos tomar las mejores medidas para los ciudadanos [69].

5. Movilidad eléctrica: a mediano y largo plazo lograr el cambio de los vehículos de transporte público que utilizan combustibles fósiles por vehículos eléctricos o que usen combustibles renovables [69].

6. Participación y colaboración: la participación ciudadana puede tener su espacio mediante plataformas colaborativas y el uso de las redes sociales [69].

7. Open data: poner a disposición de los ciudadanos datos que sean accesibles y reutilizables, de la misma forma presentarlos de manera precisa y ordenada para poder aplicar técnicas de análisis. Además, se deberá proteger la privacidad de los ciudadanos [69].

8. Gobierno abierto y transparencia: en el gobierno abierto se promueve principios de transparencia, integridad, rendición de cuentas y participación. Transparencia de las actividades públicas y acceso a la información, reutilización de la información generada por las entidades públicas por parte de personas físicas o jurídicas y administración de los medios sociales del estado para lograr un canal de comunicación con los ciudadanos [69].

5.1.3. Smart Environment

Los entornos inteligentes o *smart environment* hacen uso de las tecnologías sostenibles y verdes para lograr un desarrollo equilibrado en el cual se optimicen los recursos naturales, se proteja y preserve el medio ambiente, se reduzca las emisiones de gases, se generen menores cantidades de residuos y se optimice el consumo de energía [70]. En este campo se dota de inteligencia al entorno para que tenga interacción entre sí y pueda tomar decisiones de forma autónoma que prioricen la optimización, eficiencia y la sostenibilidad medioambiental.

En un entorno inteligente los campos principales a los que puede dotar de soluciones tecnológicas son los siguientes:

1. Energía (Smart Grid): las redes inteligentes o *smart grid* permiten que los recursos energéticos distribuidos se puedan conectar de manera segura a la red para poder gestionarlos de forma eficiente, esto se lo realiza mediante la integración de las TIC en las redes eléctricas, con lo que se puede tener un intercambio bidireccional de información entre los proveedores y consumidores de energía en tiempo real. Las *smart grid* se las puede utilizar para: mejorar la fiabilidad, seguridad y eficiencia de la red eléctrica, la implementación e integración de recursos distribuidos, dar respuesta a la demanda y recursos de la demanda, automatizar la medición de energía, integrar dispositivos inteligentes, implementar tecnologías avanzadas de almacenamiento de electricidad, información en tiempo real y posibilidad de control [71].

2. Residuos (Smart Waste): la gestión de los residuos de forma inteligente se la puede lograr mediante la incorporación de tecnologías para todas las etapas que conforman los sistemas de gestión de residuos (generación, recolección, transporte, tratamiento), entre las tecnologías que se pueden incluir están las redes de sensores y monitoreo de residuos,

contenedores inteligentes, optimización de rutas para la recolección de residuos, recolección de información para la toma de decisiones.

3. Agua (*Smart Water*): las ciudades inteligentes pueden contar con sistemas avanzados de tratamiento de agua donde las nuevas tecnologías como la inteligencia artificial se la puede aplicar para conseguir un aprendizaje automático del comportamiento de uso del agua de los ciudadanos y con ello lograr una optimización del recurso y gestionarlo de mejor manera. Entre otras soluciones de *smart wáter* se puede mencionar la creación de sistemas de recolección de agua lluvia, anticipar la meteorología para planificaciones de recolección de agua para épocas húmedas, reutilización de aguas pluviales [72].

4. Medio Ambiente (*Smart Green*): el medio ambiente inteligente hace uso de la tecnología de internet de las cosas IoT para incorporar sensores y equipos que permitan un monitoreo de las variables ambientales de las ciudades para poder procesarlas y que las autoridades puedan tomar las mejores decisiones. Entre las variables que se pueden monitorizar están: el porcentaje de polución, el nivel de ruido, cantidad de partículas de gases de efecto invernadero, etc.

5.1.4. *Smart Living*

Smart Living se refiere a los nuevos estilos de vida con la incorporación de las tecnologías de la información, tanto en los comportamientos como en el consumo de los ciudadanos. Con la incorporación de tecnologías se pueden tener servicios inteligentes en salud (e-salud), seguridad ciudadana, domótica, cultura (e-cultura), accesibilidad (e-accesibilidad), turismo (e-turismo) [73].

5.1.4.1. e-Salud

Es la aplicación de las tecnologías de la información y comunicación en el ámbito sanitario para mejorar la prevención, diagnóstico, tratamiento, y seguimiento, además de permitir una gestión del sistema de salud [74]. Entre los aportes tecnológicos que se pueden agregar a la salud están: telemedicina (consultas a distancia), *wearables* (tecnologías vestibles que monitorean datos de salud), realidad aumentada (para visualización de órganos, intervenciones quirúrgicas), historia clínica electrónica, sistemas de apoyo a la decisión clínica.

5.1.4.2. e-Turismo

El turismo electrónico tiene de base las TIC para la digitalización de los procesos, agentes, procesos de la cadena de valor de la industria turística, viajes, servicios hoteleros y catering. La aplicación de turismo electrónico permite aplicar nuevos modelos de negocio aprovechando la conectividad de las personas, se logra incidir en la forma de trabajo, aprendizaje, socialización, ocio, entretenimiento y compras [75]. Mediante las tecnologías se puede ofrecer servicios de realidad virtual como herramienta de apoyo para las empresas del sector, la posibilidad de que las personas compartan sus experiencias y sirvan como referencia para futuros turistas, la implementación de chatbots que brinden servicios personalizados, aplicación de marketing en buscadores.

5.1.4.3. e-Accesibilidad

Se encuentra dividida en tres partes diferenciadas: Accesibilidad para sitios web y aplicaciones, accesibilidad para aplicaciones de usuario y accesibilidad a herramientas de autor. La accesibilidad para sitios web y aplicaciones se encuentra orientada a que cualquier persona con discapacidad pueda interactuar con la Web, la accesibilidad de aplicaciones de usuario se refiere

a la mejora en la accesibilidad de los software que sirven de herramientas para el uso de la Web, entre ellos navegadores y reproductores multimedia; y la accesibilidad a las herramientas del autor que se refiere a las herramientas utilizadas por los desarrolladores y programadores de los sitios Web [76].

5.1.5. *Smart Economy*

La economía inteligente se refiere a una ciudad donde su industria se ha desarrollado en áreas de las tecnologías de información y comunicación, así como como en las áreas que introducen las TIC en sus procesos de producción. Entre los factores relacionados con la competitividad económica dentro de una economía inteligente se tiene: la penetración de las TIC en las empresas, promoción económica, Retención y atracción de talento, emprendimiento, desarrollo de espacios empresariales, internacionalización de la ciudad [77]. Además, en una economía inteligente existe un enfoque hacia el desarrollo económico y competitivo de la ciudad basado en la innovación y en ámbitos relacionados como el consumo, comercio y negocios.

El modelo que sigue la economía inteligente se basa en lograr impulsar el desarrollo, la sostenibilidad y aumentar el atractivo de nuevas inversiones y lo hace mediante conceptos como el de *e-bussiness*, *e-commerce*, empleo e innovación, nuevos modelos de negocio, incremento de la productividad. Un aspecto importante es el retorno de la inversión, para lo que se tiene que tener claro el impacto económico de los proyectos que se llevarán a cabo y si estos permiten disminuir los costos para las ciudades y hacerlos sostenibles a lo largo del tiempo [78].

Entre los sectores que la *smart economy* puede dotar de soluciones inteligentes se tiene:

Emprendimiento: mediante una organización urbana que permita la inserción de iniciativas emprendedoras que generen ambientes competitivos y una mejora en la productividad de las ciudades y con ello mejorar la calidad de vida de los ciudadanos [78].

I+D+I: en los centros de emprendimiento o laboratorios urbanos se generan soluciones reales que son escalables a otras ciudades y de esta forma se obtienen servicios innovadores que logran un retorno de la inversión [78].

Atractivo turístico e internacionalización: creación de servicios o productos que se los pueda consolidar como marcas relevantes a nivel nacional e internacional y permitan fomentar el turismo social y económico [78].

Formación: brindar una formación continua a la comunidad que permita el desarrollo personal y fomentar la creatividad y con ello lograr que se creen soluciones en pro del desarrollo y mejoras de la calidad de vida de los ciudadanos [78].

5.1.6. *Smart People*

La gente inteligente tiene como objetivo cambiar la forma en que interactúan los ciudadanos, por medio de la información y la prestación de servicios. La educación es un factor importante para lograr la inclusión social y la igualdad digital, proveyendo de conocimientos eficientes a las personas en los campos de las tecnologías. Por ello la *smart people* está enfocada en las habilidades digitales, el trabajo mediante el uso de las TIC, acceso a la educación y formación, capacidad de gestión. Otra característica importante de la *smart people* es su capacidad para crear y consumir datos de su entorno, esto permite que se desarrollen herramientas para el análisis de datos y la toma de decisiones mediante cuadros de mando [79].

Habilidades digitales: generar una sociedad digital que se encuentre capacitada para el uso y la interacción con las nuevas tecnologías que permita la incorporación de nuevos instrumentos y herramientas en la ciudad para mejorar las condiciones de vida de los ciudadanos.

Personas como sensores: los ciudadanos en la actualidad generan grandes cantidades de datos, entre la cual se puede discernir información relacionada con las actividades de la ciudad que permita a las administraciones tener la capacidad de tomar decisiones en tiempo real y poder predecir comportamientos futuros.

Teletrabajo/ Teleeducación: lograr tener herramientas lo suficientemente capaces de generar un ambiente similar o mejor al de trabajo o estudio, permitiendo que se incremente la comunicación y mejorando los resultados de productividad.

Smart Services: se puede crear servicios inteligentes a través de redes sociales como encuestas electrónicas, votaciones electrónicas, participación electrónica, lo que permitirá que los ciudadanos sientan que son partícipes de las decisiones que se toma en sus ciudades.

5.2. Etapas en la creación de una ciudad inteligente

La mayoría de las ciudades pasa por etapas similares hasta llegar a ser consideradas como ciudades inteligentes, el proceso de transformación es gradual y como se lo aprecia en la figura 29 tiene sus inicios en una integración vertical, pasando por un proceso de integración horizontal y terminando con la ciudad inteligente conectada.

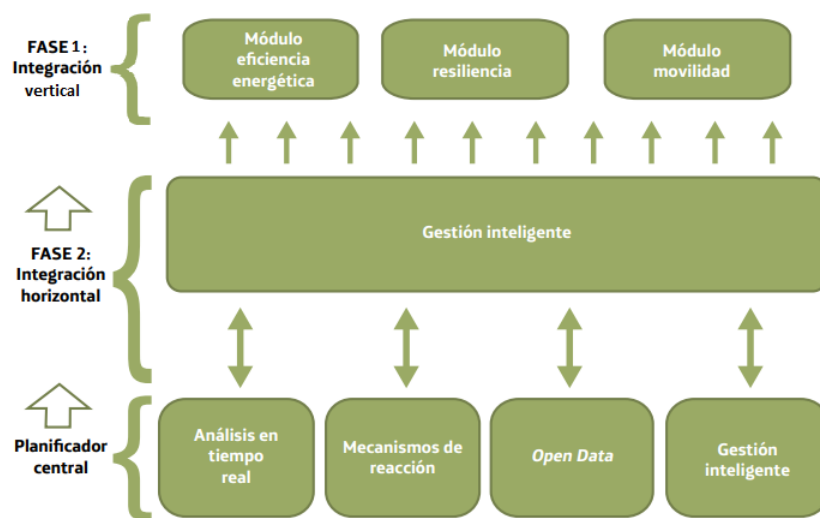


Fig. 29 Fases en la creación de una ciudad inteligente. Original de [80].

En la fase uno se produce la integración vertical que consiste en centrarse en la resolución de problemas de la ciudad dividiéndola en diferentes áreas de gestión municipal, con ello se aplican tecnologías avanzadas en proyectos específicos que mejoran los servicios de la ciudad. Los problemas que se pueden tener en esta fase son que, al realizarse proyectos independientes, se puede incurrir en la mala administración de dispositivos (sobredimensionamiento) o la aplicación de estándares diferentes que al momento de unificarlos causen problemas de comunicación; lo ideal es contar con un planificador que defina desde un inicio defina la normativa y los estándares bajo los cuales se creará la ciudad inteligente. En la fase dos se realiza una integración horizontal de todos los módulos individuales de la fase uno dentro de una estructura de gestión transversal centralizada que son plataformas en las que se conecta

toda la información y las actuaciones de las áreas de la ciudad. Mientras que en la última etapa se tiene la gestión inteligente donde aplicando herramientas tecnológicas se logra que la ciudad sea capaz de realizar predicciones de su comportamiento, realizar análisis y actuaciones en tiempo real de los servicios [80].

5.3. Plataforma de ciudad inteligente

Una plataforma de ciudad inteligente es la que proporciona una visión global de todas las áreas concernientes a la ciudad y que tiene la capacidad de añadir más áreas dependiendo de las necesidades que se vayan generando; por esta razón estas plataformas tienen que ser: escalables, flexibles, seguras, confiables, interoperables y eficientes [80].

En cada ciudad inteligente, su plataforma tendrá un tipo de arquitectura dependiendo de sus características, pero la mayoría de ellas tienen elementos en común de captación de datos, procesamiento y utilización de los mismo. En la figura 30 se indica una arquitectura general de ciudad inteligente.

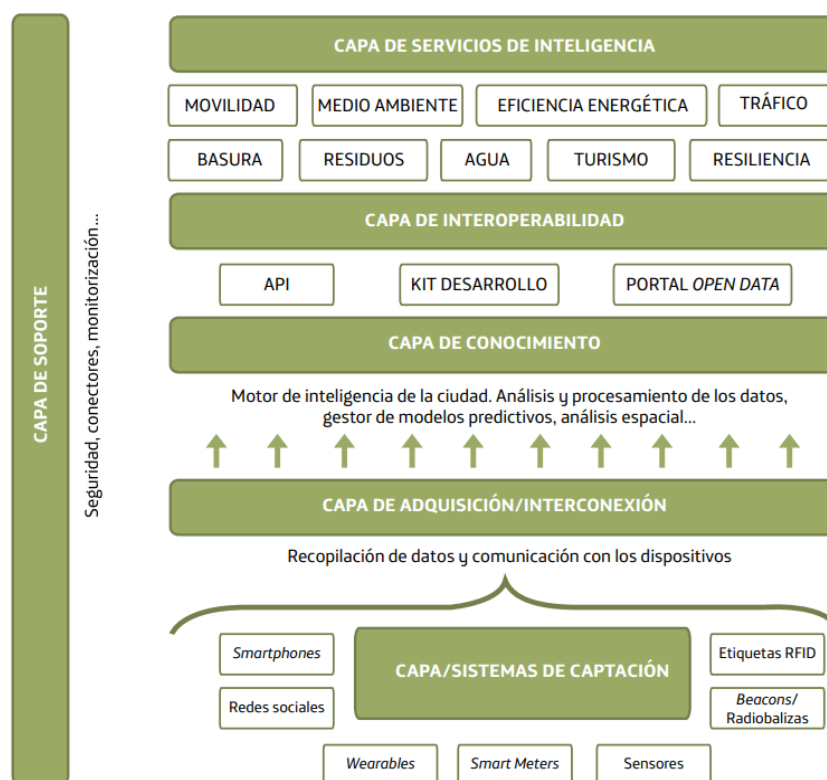


Fig. 30 Arquitectura de ciudad inteligente. Original de [80].

Capa de captación de información:

En esta capa se encuentran todos los sistemas que son capaces de obtener información de la ciudad, entre ellos se encuentran las redes de sensores gestionadas públicamente, teléfonos móviles, redes sociales, wearables y etiquetas RFID que se las puede utilizar para el monitoreo de movilidad, consumo energético, condiciones ambientales, gestión de residuos. En el tema de movilidad se pueden captar datos de plazas de aparcamiento, congestión de rutas, semáforos, radiobalizas. En el tema energético se tiene sensores de luz para el alumbrado público, sensores de consumos de agua y electricidad, mientras que en el tema ambiental destacan los sensores meteorológicos que captan datos de temperatura, ruido, humedad, calidad del aire [80].

Capa de adquisición/ interconexión:

En esta capa se realiza la recolección de todos los datos provenientes de las fuentes de captación, a dichos datos se puede estandarizar su formato utilizando plataformas *Data Warehouse* o se los puede dejar en su formato original mediante *Data Lake*, además en esta capa se permite la interconexión de la plataforma con sistemas externos que necesiten únicamente los datos captados [80].

Capa de conocimiento:

Esta capa se encarga del procesamiento y transformación de todos los datos que han sido recopilados en la capa de adquisición y puede estar implementada en forma de *cloud computing*. Esta etapa es de las más importantes debido a que de toda la cantidad de datos procesados (limpieza y análisis de datos) se obtiene información útil para las empresas o el sector público [80].

Capa de interoperabilidad:

En esta etapa se permite acceder con seguridad a la información generada en la capa del conocimiento a través de interfaces, APIs y conectores, esta información se la puede utilizar para la generación de servicios, además esta capa cuenta con elementos que permite que permite que la capa del conocimiento se conecte con elementos externos [80].

Capa de servicios de inteligencia:

Esta es la última etapa de la arquitectura y en esta se permite que los servicios municipales (movilidad, medio ambiente, energía, tráfico, residuos, agua, turismo) puedan acceder a la plataforma para obtener la información útil que les sirva para la toma de decisiones [80].

Capa de soporte:

Esta es una capa transversal que sirve para el correcto funcionamiento de toda la plataforma, brinda servicios de auditoría, monitorización y seguridad para que individuos externos y no autorizados a la plataforma puedan tener acceso a ella, es una capa que tiene que estar presente en todos los niveles [80].

5.4. Tecnologías emergentes aplicables a las ciudades inteligentes

5.4.1. IoT (*Internet of Things*)

Internet de las cosas se lo puede definir como una red abierta e integral de objetos inteligentes conectados entre sí que tienen la capacidad de autoorganizarse, compartir información, datos y recursos, pudiendo reaccionar y tomar acciones a las situaciones y cambios que se presenten en el entorno [81]. En [82] se indica que IoT consiste en la instalación de sensores (identificadores de radiofrecuencia RFID (*Radio Frequency Identification*), infrarrojos IR, NFC (*Near Field Communication*), GPS (*Global Positioning System*), escáneres láser, etc.) en todo para posteriormente conectarlos a Internet mediante protocolos de intercambio de información y comunicación, con la finalidad de reconocimiento inteligente, ubicaciones, rastreos, seguimientos y gestión.

Para [83] son cinco las tecnologías esenciales del Internet de las cosas: RFID, redes de sensores inalámbricos (WSN), *middleware*, *cloud computing* y software de aplicación de IoT. RFID permite la identificación automática y la captación de datos mediante ondas de radio y con el

uso de etiquetas donde se introduce datos en forma de código y que se los puede leer mediante lectores. Las WSN son sensores autónomos que se encuentran distribuidos espacialmente en un área de interés con el objetivo de monitorizar parámetros físicos o ambientales como temperatura, sonido, presión, movimiento, etc. *Middleware* es un software que se ubica entre un sistema operativo y las aplicaciones que se ejecutan en él y se encarga de tareas de gestión de datos, brindar servicios a las aplicaciones, autenticación y gestión de API (*Application Programming Interface*). *Cloud computing* o computación en la nube permite el acceso bajo demanda a un conjunto compartido de recursos configurables como computadoras, redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones, servicios y software. Y las aplicaciones de IoT que permiten las interacciones de dispositivos a dispositivos o de dispositivos a personas de manera confiable y segura.

5.4.2. IoB (*Internet of Behavior*)

En la actualidad un paso más reciente que se ha dado al IoT es el IoB (*Internet of Behavior*) que es el Internet de los comportamientos el cual mediante todos los datos generados por IoT permite obtener información sobre los comportamientos, intereses y preferencias de los usuarios. En la figura 31 se tiene la jerarquía del conocimiento donde se puede ver que el IoT es la base para el desarrollo del IoB, en IoT se recopila información y se la transforma en información mediante la minería de datos, mientras que con IoB se busca que esa información se convierta en conocimiento con el uso de la ingeniería del conocimiento, mientras que para que el conocimiento se transforme en predicciones sabias de comportamientos se buscan nuevas fuentes de datos personalizados que ofrece IoT.

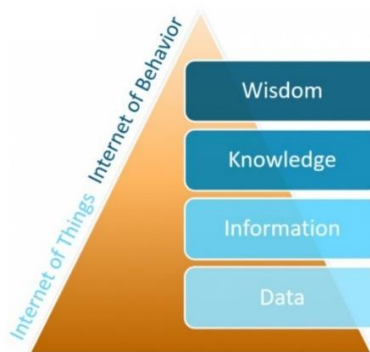


Fig. 31 Jerarquía del conocimiento. Original de [84].

Entre las ventajas que se obtiene mediante IoB está poder saber las tendencias de los consumidores y poder actualizar constantemente los servicios y productos para satisfacer las necesidades de los usuarios y mejorar la cadena de valor, mientras que entre las desventajas están las implicaciones de privacidad y ciberseguridad que se deberán desarrollar para la protección de los patrones de comportamiento.

5.4.3. *Big Data*

El *Big Data* según [85] son activos de información de grandes volúmenes, altas velocidades y gran variedad que requieren técnicas y tecnologías avanzadas para la captura, almacenamiento, distribución, gestión y análisis de la información. Los volúmenes de datos pueden estar expresadas en *terabytes* o en *petabytes*, las altas velocidades se refieren a la generación de datos y la velocidad de analizarlos y actuación, mientras que la variedad se refiere a la heterogeneidad estructural de los datos, que pueden ser estructurados, semiestructurados y no estructurados.

En [86] un estudio de las arquitecturas para el *big data*, varios autores presentan las etapas de las que debería constar, entre las cuales se propone una que consta de cuatro etapas: recolección de datos, carga de datos, transformación de datos y extracción de datos.

Etapa 1. Recolección de datos: se reciben datos de diferentes fuentes como páginas web, redes sociales, biometría, transacciones, máquina a máquina (M2M), sensores, emails, teléfonos móviles; estos datos como se mencionó anteriormente pueden estar estructurados, no estructurados o semiestructurados.

Etapa 2. Carga de datos: en esta etapa se aplica el concepto de metadatos para cargarlos y además se logra que los datos estén estructurados, los metadatos logran describir las características de los datos como el nombre, ubicación, calidad, importancia, relaciones con otros datos.

Etapa 3. Transformación de datos: los datos son transformados mediante reglas del negocio y el procesamiento de datos, los datos de salida de esta etapa son calves de metadatos con modelo clave-valor.

Etapa 4. Extracción de datos: en esta etapa se logra obtener datos que serán almacenados para su posterior análisis, generar informes operativos y visualizarlos.

Las aplicaciones del *big data* se pueden enmarcar dentro de tres categorías: descriptivas, donde los datos se los utiliza para caracterizar el pasado y presente; predictivas, donde se pueden crear modelos que permitan anticiparse a los eventos; y prescriptivas donde en base a conocimientos previos se puedan manipular valores establecidos para obtener mejores resultados [87].

5.4.4. Inteligencia Artificial (IA)

La inteligencia artificial se la puede definir como la capacidad de las máquinas para usar algoritmos, procesar datos, aprender de los datos y tomar decisiones como lo haría un ser humano con la ventaja de que, al no necesitar descanso, pueden analizar grandes cantidades de información a la vez y con menos errores que los humanos [88]. También se dice que la IA es una rama de la ciencia que se encarga de la construcción de máquinas para que realicen actividades que, si fueran realizadas por un ser humano, requerirían de inteligencia.

Entre las áreas de aplicación de la IA se puede mencionar las siguientes: tratamiento de lenguajes naturales, sistemas expertos, robótica, problemas de percepción (visión y habla), aprendizaje de las máquinas. Además, en la tabla 11 se indican las aplicaciones puntuales que se puede dar a la IA.

Tabla 11. Aplicaciones de IA. Adaptado de [89].

Área	Aplicaciones
Medicina	Ayuda al diagnóstico Análisis de imágenes biomédicas Procesado de señales fisiológicas
Ingeniería	Organización de la producción Optimización de procesos Cálculo de estructuras Planificación y logística

	Diagnóstico de fallos Toma de decisiones
Economía	Análisis financiero y bursátil Análisis de riesgos Estimación de precios en productos derivados Minería de datos Marketing y fidelización de clientes
Biología	Análisis de estructuras biológicas Genética médica y molecular
Informática	Procesado de lenguaje natural Criptografía Teoría de juegos Lingüística computacional
Robótica y automática	Sistemas adaptativos de rehabilitación Interfaces cerebro-computadora Sistemas de visión artificial Sistemas de navegación automática
Física y matemáticas	Demostración automática de teoremas Análisis cualitativo de sistemas no-lineales Caracterización de sistemas complejos

Una tecnología relacionada con la IA es la computación cognitiva (*Cognitive computing*) en donde se busca que las máquinas puedan lograr simular todos los procesos mentales que se llevan a cabo en el cerebro humano para desarrollar su pensamiento. Es un sistema que mezcla la ciencia de la computación y la ciencia cognitiva para que las máquinas aprendan a escala, razonen con un propósito y logren interactuar de forma natural con los humanos [89]. Las ventajas de la computación cognitiva es la reducción de costes, adaptación a los cambios, capacidad de integración con aplicaciones y automatización de procesos. Entre las principales plataformas de computación cognitiva se encuentra: *AWS (Amazon Web Services)*, *IBM Watson*, *Google Cloud*, *Microsoft Cognitive Services*, *Google Deepmind*.

5.4.5. Computación en la nube (*Cloud Computing*)

La computación en la nube es un nuevo estilo de computación en donde se proporcionan recursos dinámicamente escalables y virtualizados, donde los usuarios mediante dispositivos como PC, teléfonos móviles, portátiles, pueden acceder a software, almacenamiento y plataformas de desarrollo a través de Internet.

El Instituto estadounidense de Estándares y Tecnología definen la computación en la nube de la siguiente manera: “*La computación en la nube es un modelo para permitir el acceso conveniente a la red bajo demanda a un grupo compartido de recursos informáticos configurables (por ejemplo, redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios) que se pueden aprovisionar y liberar rápidamente con un mínimo esfuerzo de gestión o interacción del proveedor de servicios*”.

Entre las características principales de la computación en la nube se tiene: servicios bajo demanda donde se le proporciona al consumidor capacidades informáticas dependiendo de sus necesidades, la capacidad de poder compartir recursos entre una gran cantidad de usuarios permitiendo un uso eficiente de la infraestructura, la escalabilidad automática y en tiempos

reducidos dependiendo de la demanda del consumidor, poder tener acceso a datos independientemente del dispositivo que se utilice y de la ubicación del usuario, ante eventuales desastres no se tiene pérdidas económicas por la reposición de infraestructura [90].

Las capas principales que conforman la computación en la nube son: software como servicio (SaaS), plataforma como servicio (PaaS), infraestructura como servicio (IaaS).

SaaS: el software como servicio es un modelo en el que las aplicaciones que se encuentran alojadas en los proveedores son puestas a disposición de los clientes a través de una red, generalmente Internet, y donde las aplicaciones tienen la capacidad de interactuar entre ellas a través de una amplia gama de entornos y plataformas. La utilización de SaaS tiene el beneficio de liberar a los usuarios de las complejidades de instalación, administración, soporte, licencias y altos costos que se asocian a los softwares [91]. Ejemplos de SaaS son: *BigCommerce, Microsoft Office 365, Dropbox, HubSpot, Slack*.

PaaS: en las plataformas como servicio se permite que los usuarios tengan acceso a entornos basados en la nube donde puedan crear o desplegar aplicaciones adquiridas por los mismos, brindándoles la posibilidad de aplicar lenguajes de programación y herramientas soportadas por el proveedor. Los usuarios tienen control sobre las aplicaciones desplegadas, pero no tienen control ni pueden administrar la infraestructura de la nube. Ejemplos de PaaS son: *Elastic Beanstalk de AWS, App Engine de Google, Azure de Microsoft, Cloud de IBM* [92].

IaaS: en la infraestructura como servicio se brinda a los usuarios la capacidad para manejar aplicaciones, sistemas operativos, datos, middleware [92]. Los proveedores proporcionan a los usuarios la virtualización, almacenamiento, la red y los servidores, mientras que ellos son los que controlan en su totalidad la infraestructura. Ejemplos de IaaS son: *Amazon Web Services (AWS), Bungee Connect, Google Cloud, Rackspace*.

5.4.6. Nube distribuida (*Distributed cloud*)

La nube distribuida es una evolución de la computación en la nube y a diferencia de los grandes centros de datos centralizados que se tienen en esta, en la nube distribuida se tiene grandes cantidades de centros de datos de tamaño pequeño distribuidos en un área geográfica [93]. Los problemas comunes que se encuentran en la tradicional computación en la nube son que, al tener pocos centros de datos centralizados, existe limitaciones de ancho de banda, se tiene mayor tráfico de red, mayor latencia y al no saber las necesidades computacionales reales de los usuarios, se produce un sobredimensionamiento que genera desperdicio de recursos y altos consumos de energía. Con la nube distribuida se puede encontrar una “máquina en la nube” que se encuentre geográficamente cerca, esta puede ser una PC, una portátil o un servidor capaz de ejecutar máquinas virtuales, que no se encuentren utilizando sus recursos, por ejemplo, los tiempos de la CPU inactivos o la memoria no utilizada, que se pueden poner a disposición de otros usuarios. Las ventajas de la nube distribuida es que poder contar con las mismas características de la nube tradicional en temas de gestión de recursos, seguridad de datos y privacidad de datos, proporciona escalabilidad y reduce las limitaciones de red, disminuye la latencia al contar con nodos informáticos distribuidos geográficamente cerca y hace un uso óptimo de los recursos [94].

5.4.7. Blockchain

Blockchain es una tecnología de contabilidad distribuida administrada de manera descentralizada que consiste en una red de computadoras donde todas ellas deben aprobar que

una transacción se llevó a cabo antes de ser registrada en una cadena de código informático; todas las transacciones quedarán registradas en un libro público al que cualquiera en la red lo puede revisar [95].

El libro de registro descentralizado contiene los bloques de las transacciones conectados entre sí, las transacciones que son validadas y verificadas se almacenan en forma de bloque, el mismo que se encuentra vinculado con la transacción anterior, la cadena de bloques se forma con un bloque inicial al que le sigue un nuevo bloque que contiene información de su antecesor mediante una código hash, es por eso que cualquier cambio generado posteriormente en cualquier bloque de la cadena, generará como salida un código hash diferente, el mismo que es visible para todos los participantes de la cadena de bloques [96].

Según [97] y como se indica en la figura 32, son cuatro las características claves del blockchain: no localización (descentralización), seguridad, auditabilidad y la ejecución inteligente. El proceso es el siguiente: un agente solicita una nueva transacción y con ello un nuevo bloque de la cadena, dicho bloque es transmitido a la red para su verificación y auditoría, todos los nodos de la cadena deberán aprobar la transacción basándose en acuerdos y reglas aprobadas previamente, una vez aprobado, el bloque es añadido a la cadena de bloques y la transacción se registra en varios nodos distribuidos por seguridad, finalmente mediante todo este proceso, se permite generar contratos inteligentes que son fiables sin la participación de terceros.

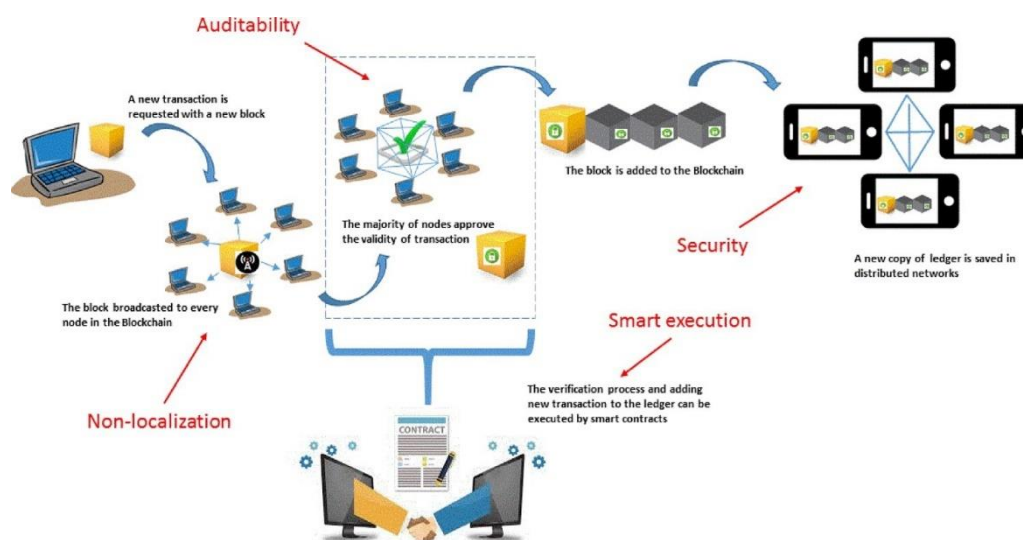


Fig. 32 Etapas de la información y las transacciones de blockchain. Original de [97].

Entre las principales aplicaciones que se pueden dar a blockchain se puede mencionar las siguientes: almacenamiento en la nube distribuido, gestión de identidades, registro y verificación de datos, contratos inteligentes, seguimiento a las cadenas de suministro, seguridad automatizada, servicios de notaría, economía colaborativa, sistemas de votación, descentralización del IoT.

6. Propuesta tecnológica para la gestión de residuos

Analizando la situación actual del tratamiento de residuos sólidos en España y las tecnologías de las que hace uso para su funcionamiento, además de las tecnologías emergentes que pueden ser utilizadas en cada uno de sus procesos y su contribución para la creación de ciudades inteligentes sostenibles; en la presente memoria se propone un nuevo sistema de gestión de

residuos sólidos urbanos, principalmente enfocado en la ciudad de Granada, pero que a la vez pueda ser escalable a cualquier ciudad dentro del ámbito nacional.

La gestión de residuos sólidos urbanos es una pequeña pero importante parte dentro de un modelo de ciudad inteligente en donde se involucran diferentes áreas de desarrollo en las que en cada una de ellas se tendrán proyectos y soluciones específicas para cada problema, esto significa que se tendrá un desarrollo vertical. El caso de la gestión de residuos no es la excepción, la principal diferencia de las propuestas que se plantean es establecer modelos que permitan la integración dentro de una plataforma de gestión de ciudad inteligente a todas las áreas de desarrollo (desarrollo horizontal), creando procesos estandarizados que permitan un flujo de comunicación eficiente para la toma de decisiones de las autoridades competentes, dichos modelos permiten una actualización continua mediante la inserción de nuevas tecnologías, sin que ello implique un cambio total o reestructuraciones drásticas de los procesos.

6.1. Modelado de un sistema estándar de gestión de residuos

Mediante el software *Camunda Modeler*¹ se ha modelado el sistema actual de gestión de residuos sólidos urbanos con el fin de tener claro cuáles son los procesos que intervienen en el mismo, en la figura 33 se tiene el diagrama correspondiente. El software permite separar mediante “carriles” cada uno de los roles del proceso y brindarles la capacidad de interactuar entre ellos. En la figura 33 se puede ver que el proceso general es el sistema de gestión de residuos sólidos urbanos, dentro del cual se tiene tres roles principales: usuario, recogida y tratamiento.

El proceso que siguen los residuos es el siguiente:

1. El usuario empieza el proceso con la generación de los residuos.
2. En el domicilio se puede realizar una primera etapa de clasificación dependiendo del tipo de residuo (por lo general no se lo realiza).
3. El usuario realiza el depósito de los residuos en contenedores, que dependiendo del tipo de residuos lo puede realizar en contenedores: amarillos, azules, verdes, marrones, grises. Quedando de esta forma listos para su recogida.
4. Un segundo participante ingresa al proceso y es el sistema de recogida, en el cual antes que nada se realiza una planificación de la recogida de residuos, dando lugar a calendarios con los días y las horas de la prestación de sus servicios.
5. Si se cumple la condición de ser el día y la hora planificada, se realiza la recolección de los residuos depositados por los usuarios en los contenedores.
6. En este punto se realiza la transición de los residuos con su traslado a las plantas de tratamiento.
7. Según el tipo de residuos: residuos mezclados, FORS (fracción orgánica de recogida separada), residuos de envases o vidrio, papel y cartón; se les da diferentes tratamientos.

¹ *Camunda Modeler* es un software que permite modelar flujos de trabajo BPMN y modelos de decisión DMN. Se encuentra desarrollado en Java y es un software de código abierto. La versión utilizada en esta memoria es la versión 3.5.0.

8. A excepción del vidrio, papel y cartón, que pasan directamente a la etapa de reciclado, el resto de los residuos debe pasar por diferentes procesos como la clasificación de envases, tratamiento mecánico biológico, incineración, compostaje y digestión anaeróbica y vertido.

9. Finalmente al pasar por cada etapa de tratamiento, se obtiene material reciclable con el que se pone fin al proceso.

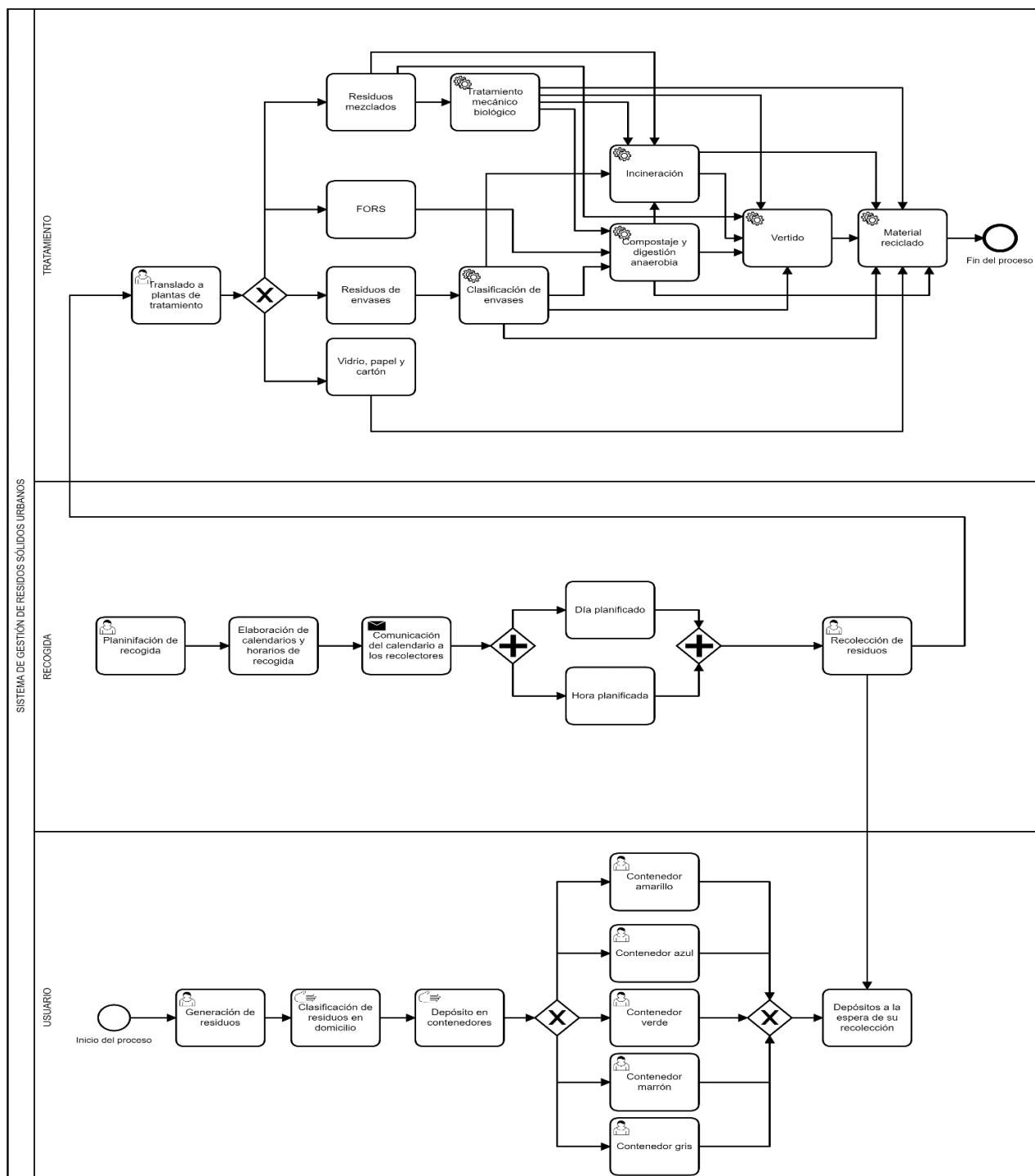


Fig. 33 Proceso de la gestión de residuos. Elaboración propia.

Como se puede observar, no existe una etapa que permita tener un control inteligente de los residuos, la comunicación entre cada uno de los actores es prácticamente nula y simplemente se sigue un proceso monótono en el que se desaprovechan muchas oportunidades de hacer más

eficiente el proceso, los datos generados en cada una de las etapas como se lo indicó en el capítulo correspondiente a estadísticas de residuos, sirven simplemente como información, sin que estos sean utilizados para la mejora continua del sistema.

6.2. Modelado de un sistema mejorado de gestión de residuos

A continuación, se propone un diagrama de gestión de residuos en el que se incorporan varias soluciones y tecnologías explicadas a lo largo de esta memoria.

Para una mejor comprensión del diagrama se lo dividirá en cada una de las etapas de la que está conformado y finalmente se lo unificará para su visualización. La primera etapa es la del usuario y se lo indica en la figura 34.

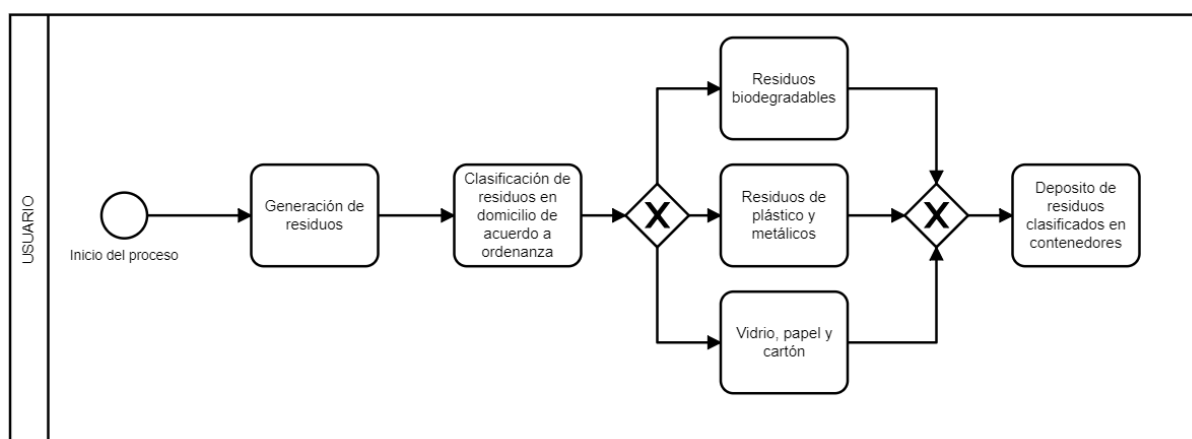


Fig. 34 Etapa de usuario. Elaboración propia.

Esta es la etapa que da inicio al proceso y en la cual se propone que antes de iniciar el mismo, se implementen ordenanzas municipales para la clasificación de residuos en los domicilios, en la cual se dictamine que en cada uno de los domicilios exista tres tipos diferentes de contenedores: uno para residuos biodegradables, uno para residuos de plástico y metálicos y el último para residuos de vidrio, papel y cartón; esto permite que las plantas de tratamiento puedan incrementar su eficiencia ya que se añade una etapa previa de clasificación, una etapa en la cual, al estar al inicio de la generación de residuos, es más sencillo de realizar y permite que residuos que pueden ser reciclados, reutilizados o valorizados, no terminen en vertederos.

Con la ordenanza en vigor se inicia el proceso con la generación de residuos, los mismos que tendrán que ser clasificados en los domicilios de acuerdo a su tipo como se lo indico en el párrafo anterior. Una vez clasificados, los residuos deberán ser depositados en los correspondientes contenedores públicos para su posterior recogida.

La segunda etapa es el control y monitoreo de los contenedores en la cual se propone instalar sensores de volumen en cada contenedor y poder tomar diferentes acciones con los datos obtenidos. En la figura 35 se observa el proceso, el cual inicia con el monitoreo de los contenedores anteriormente llenados por los usuarios. Mediante sensores infrarrojos o de ultrasonido, se puede obtener el nivel de llenado de cada uno de los contenedores, si el porcentaje de llenado es igual o mayor al 90% se comprimen los residuos con el fin de disminuir el nivel y con ello aumentar su capacidad, si el porcentaje es menor simplemente se registra el porcentaje actual y se lo envía al centro de datos (etapa tres que se explica a continuación), cuando se llegue al punto que ya no sea posible comprimir más el contenido, se cierra y se

bloquea el contenedor para finalmente informar al centro de datos que el contenedor está en estado lleno. Además de sensar el volumen del contenedor, mediante geoposicionamiento se puede obtener su ubicación. Por otra parte, la energía necesaria para la compactación de residuos se la obtiene de paneles solares a los cuales también se puede monitorear su estado. Estos dos datos de la misma forma se los envía al centro de datos. Adicionalmente se podría instalar sensores de temperatura para controlar que no se quemen los residuos.

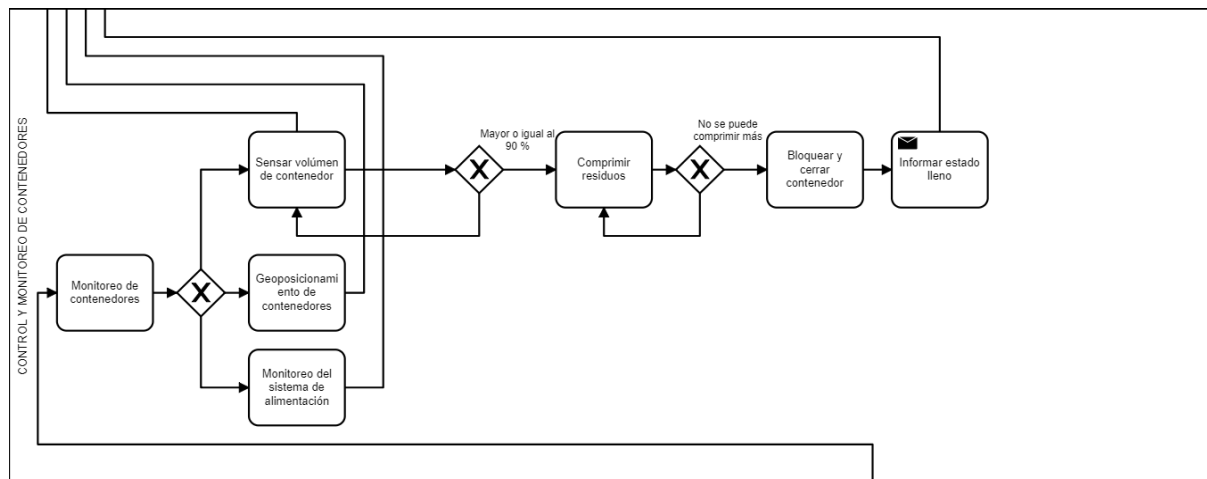


Fig. 35 Etapa de control y monitoreo de contenedores. Elaboración propia.

La siguiente etapa es el centro de datos (figura 36) y se encarga del almacenamiento y analítica, los datos provenientes del monitoreo de contenedores ingresan en módulos separados para su almacenamiento en sistemas de gestión de bases de datos entre los que pueden ser: *MySQL*, *PostgreSQL*, *Microsoft SQL Server*, *PostGIS*, etc. Con los datos almacenados en bases de datos se puede aplicar técnicas de *big data* como: análisis de series temporales, *data mining*, análisis clúster, clasificadores, reglas de asociación; que permitan obtener conocimiento de los datos.

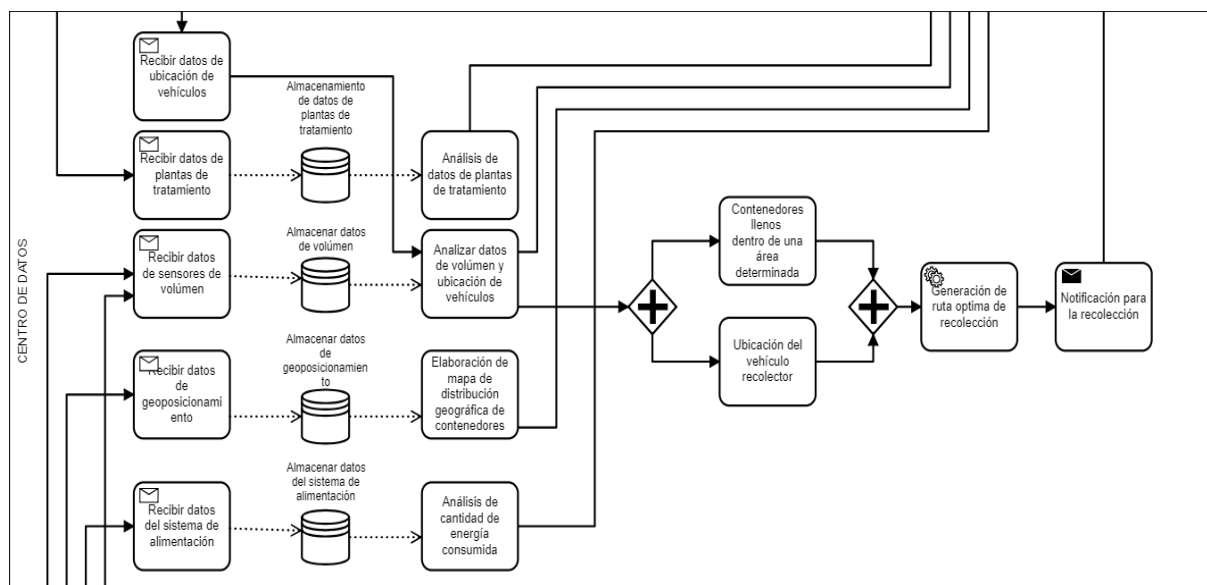


Fig. 36 Etapa de almacenamiento y analítica (centro de datos). Elaboración propia.

Con los datos analizados de volumen, se determinan áreas de contenedores llenos que necesitan ser recogidos, que sumados a la ubicación exacta de los vehículos recolectores, se generan rutas

óptimas de recolección para cada uno de los vehículos que serán notificadas en tiempo real. Por otra parte, con los datos de geoposicionamiento se generan mapas de distribución geográfica de los contenedores y con los datos del sistema de alimentación se realiza un análisis de la energía consumida. La salida de todos los procesos de análisis: análisis de datos de plantas de tratamiento, análisis de datos de volumen y ubicación de vehículos, mapas de distribución geográfica de contenedores, análisis de cantidad de energía consumida, son enviados a la última etapa de datos abiertos y cuadros de mando que se explicará en los próximos párrafos.

En la etapa de recogida de residuos (figura 37), con los cambios realizados en las etapas anteriores, cambia drásticamente, se eliminan los calendarios y horarios de recogida y se añade la comunicación con el centro de datos al cual se le envía la ubicación de cada vehículo recolector, que combinado con el análisis de contenedores llenos en un área específica de la etapa anterior, se logra recibir de vuelta una notificación con la ruta óptima de recorrido para cada conductor, el conductor tendrá que ir recolectando los residuos por cada punto marcado para finalmente hacer el traslado a las plantas de tratamiento.

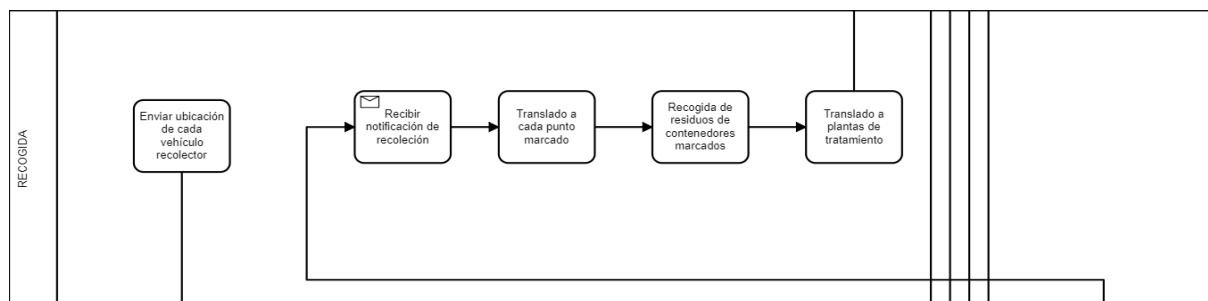


Fig. 37 Etapa de recogida de residuos. Elaboración propia.

Los vehículos recolectores llegan a las plantas de tratamiento a realizar la descarga de los residuos, seguido de este paso, en la figura 38 se puede observar un proceso con el nombre de “TRATAMIENTO”, dentro de él se tienen los mismos procesos de tratamiento del sistema actual, que por cuestión de visualización, se lo redujo a un solo cuadro, es decir, hay que tener en cuenta que dentro de este cuadro se está realizando los procesos de tratamiento mecánico biológico, clasificación de envases, incineración, compostaje y digestión anaerobia, vertido y material reciclado; con la principal diferencia que en cada uno de estos procesos se están generando datos los mismos que serán enviados al centro de datos para su almacenamiento y análisis.

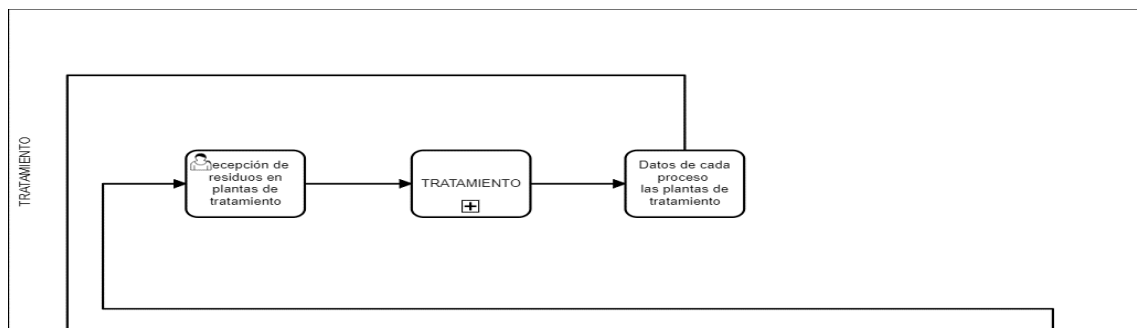


Fig. 38 Etapa de tratamiento de residuos. Elaboración propia.

La última etapa son los datos abiertos y cuadros de mando (figura 39); a esta etapa llegan todos los datos analizados del centro de datos con los cuales se tomarán tres acciones: la primera la

creación de APIs que permitan la interoperabilidad con aplicaciones externas, la segunda es la creación de catálogos de datos abiertos que sean accesibles y reutilizables y la tercera la aplicación de *Business Intelligence* BI (Inteligencia de negocios). Las APIs y los datos abiertos pueden ser utilizado por empresas o público en general para el funcionamiento o desarrollo de aplicaciones, mientras que la inteligencia de negocios permite la creación de cuadros de mando o *dashboard* donde se visualicen los indicadores más relevantes a partir de los datos recibidos, por lo general en una sola pantalla se presentan en tiempo real métricas, comparaciones, porcentajes, graficas históricas, etc., lo que permite que de un solo vistazo de pueda saber qué es lo que está ocurriendo en todos los procesos.

Para la parte de BI se puede utilizar herramientas como: *IBM Cognos, SAP Business Intelligence, MicroStrategy, Microsoft Power BI, Oracle BI* ². Cuando los cuadros de mando han sido generados quedan a disposición del ayuntamiento que será el encargado de tomar las decisiones necesarias para la mejora del servicio de residuos. En este punto se puede considerar que se ha terminado el proceso.

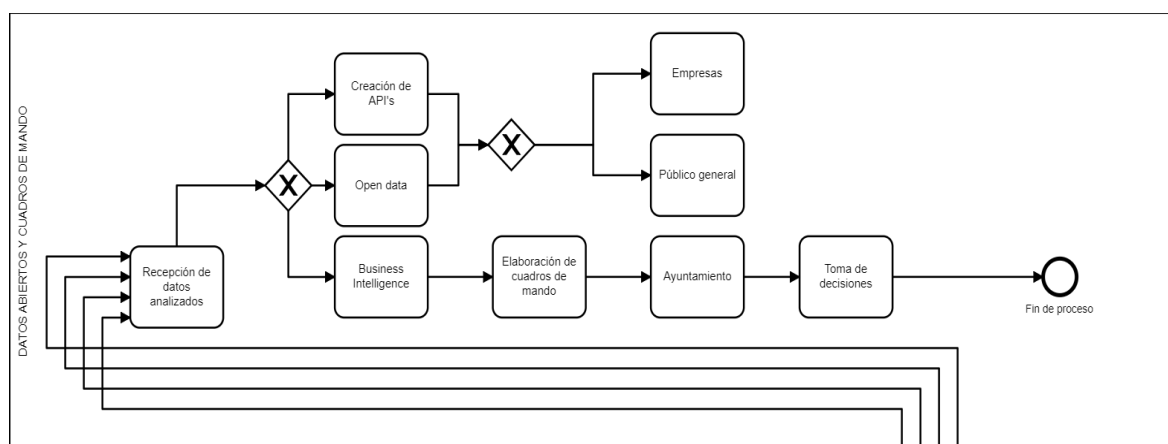


Fig. 39 Etapa de datos abiertos y cuadros de mando. Elaboración propia.

Cabe destacar que en este diagrama propuesto no se contemplan procesos de seguridad y gobernanza inteligente ya que estos son elementos independientes de la plataforma de ciudad inteligente que se tenga, es decir, los mismos no siguen un proceso en si dentro del modelo, más sin embargo se los puede encontrar presentes en cualquier momento y en cualquier instancia de los procesos. Se los puede considerar como un “observador” que se encarga de gestionar, monitorizar, brindar seguridad y controlar servicios de auditoría.

En la figura 40 se muestra todo el diagrama con las etapas del sistema de gestión de residuos propuesto y explicado en los párrafos anteriores. Son tres etapas nuevas las que se han añadido en este sistema y como se lo puede observar, se permite que exista una interacción continua entre todos los elementos del que se encuentra conformado; con este sistema los datos que se generan en cada proceso no se quedan en simples estadísticas y pasan a formar parte importante para la mejora continua del mismo.

² Las herramientas mencionadas permiten realizar tareas de inteligencia de negocio. Las mismas tienen características en común como el análisis de datos, realizar informes, permitir las consultas y permite la creación de cuadros de mando.

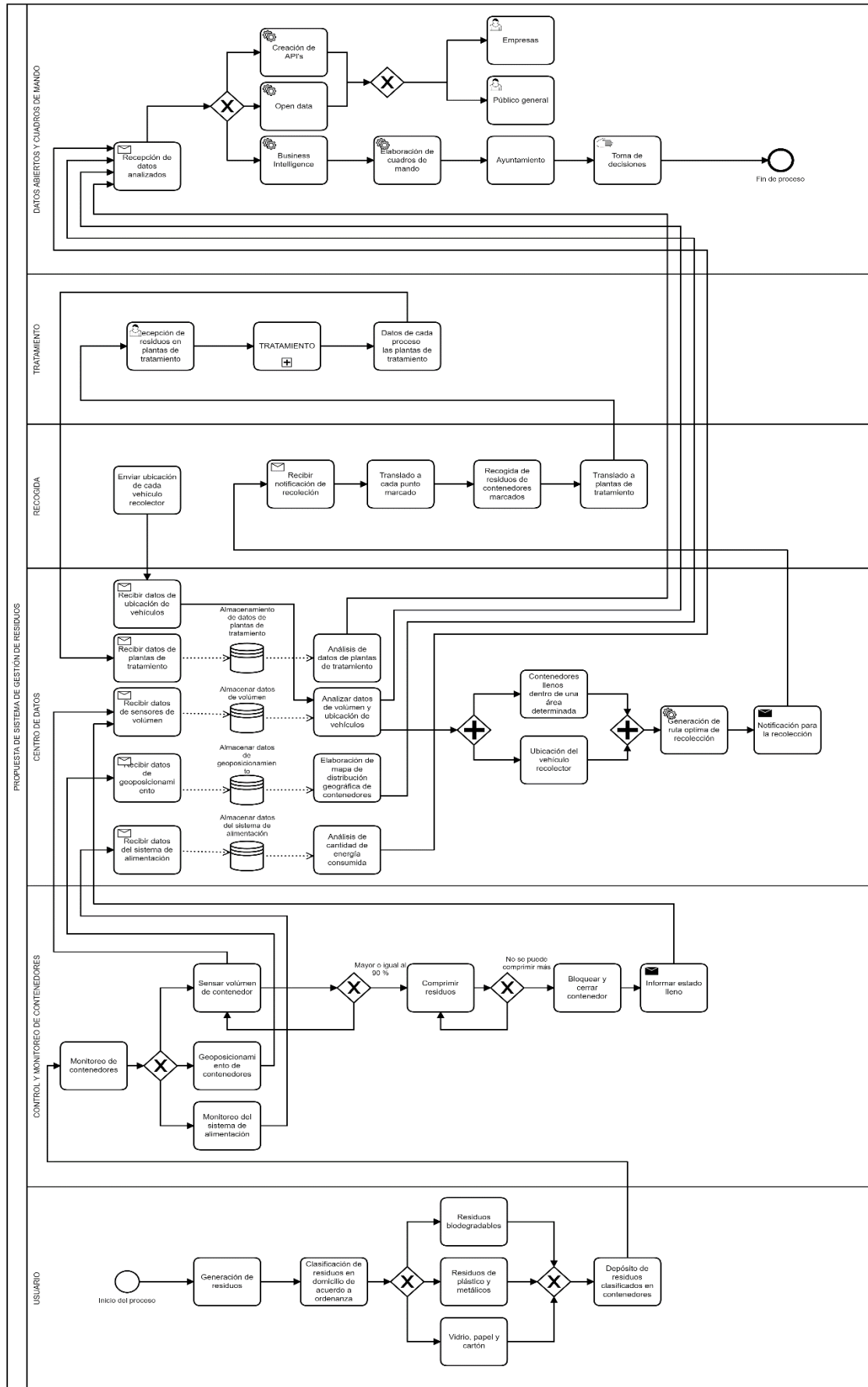


Fig. 40 Sistema de gestión de residuos propuesto. Elaboración propia.

Por otra parte, se puede plantear el uso de la tecnología *blockchain* mediante la que se pueda tener un control de la trazabilidad de los residuos por todas las etapas propuestas y así lograr optimizar la gestión de los residuos. Se podría usar etiquetas QR (*Quick Response*) en cada entrega de los transportistas a las plantas de tratamiento y lograr que desde este punto se tenga un control y transparencia en todos los procesos que siguen los residuos; mediante este etiquetado se puede conocer que tipo de residuo que se va a tratar, de que contenedor proviene, que peso tiene, que vehículo lo ha transportado y con todos estos datos “transaccionar” en *blockchain*, es decir, que toda esta información sea compartida a todos los implicados de la seguridad del sistema, evitando que de esta forma exista manipulaciones de los datos reales. Esto además de permitir que no se manipulen los datos reales, permite que se pueda comprobar que toda la gestión que se le da a los residuos cumple con las normativas medioambientales establecidas.

6.3. Aporte del sistema propuesto a la consecución de los ODS 6-8-11-12

A continuación, se presentan las ventajas que se tienen mediante este sistema de gestión de residuos y como esto ayuda a la consecución de los ODS 2030:

Tabla 12. Aportes en los ODS. Elaboración propia.

Ventajas	ODS al que aporta
Disminuir los índices de generación de residuos en la ciudad	ODS 11. Meta 11.6
Aumentar el índice de clasificación de residuos en los hogares	ODS 11. Meta 11.6
Disminuir la cantidad de materiales reciclables o reutilizables en vertederos	ODS 12. Meta 12.2
Dotación de infraestructura tecnológica al área de residuos	ODS 9. Meta 9.4 (Modernización de infraestructura)
Monitoreo continuo de la generación de residuos de la ciudad y los patrones de comportamiento para posibles soluciones	ODS 11. Meta 11.3
Optimización de recorrido de vehículos recolectores, lo que se traduce en recorridos más cortos y con ello disminuir las tasas de dióxido de carbono en la ciudad.	ODS11. Meta 11.6 ODS 12. Meta 12.2
Reducción de uso de combustibles fósiles en los vehículos recolectores	ODS11. Meta 11.6 ODS 12. Meta 12.2
Optimización de uso de infraestructura (contenedores)	ODS 12. Meta 12.2
Uso de energías renovables (energía solar de contenedores)	ODS 12. Meta 12.5
Disminuir el desbordamiento en contenedores y con ello problemas de sanidad.	ODS 6. Meta 6.3

Disminución de los costos en la etapa de recolección de residuos: menos gastos en combustible, en mano de obra y en manteniendo de la flota.	ODS 8. Meta 8.4
Soluciones en tiempo real y análisis predictivos para la toma de decisiones.	ODS 11. Meta 11.3
El sistema es escalable y puede ser aplicable en varias ciudades.	ODS 11. Meta 11.3
Disminución de residuos en vertederos lo que permite que los suelos no se contaminen y las aguas permanezcan sanas	ODS 6. Meta 6.3
Mejora de las condiciones de trabajo en la etapa de recolección y en las plantas de tratamiento.	ODS 8. Meta 8.4
Incentivar los datos abiertos y su utilidad para el desarrollo de la ciudad	ODS 9. Meta 9.4
Aumentar la participación ciudadana dándoles un papel importante dentro del sistema.	ODS 12. Meta 12.5
Fomentar la transparencia de la información y brindar datos verdaderos y fiables.	ODS 8. Meta 8.4
Mediante los datos en tiempo real, permitir que los datos estadísticos en los sitios Web siempre se encuentren actualizados.	ODS 12. Meta 12.2
Permitir la integración transparente y fácil de otras áreas de desarrollo de la ciudad.	ODS 9. Meta 9.4

En la tabla 12 se pueden observar los puntos más importantes detectados a los que aporta la inclusión de nuevas tecnologías al modelo tradicional de gestión de residuos, en la cuál se tiene que a los objetivos que mayor beneficio genera son al ODS 11 y 12, los mismos que fueron planteados en un inicio como objetivos directos. Mientras tanto los objetivos que de la misma forma se pueden beneficiar, pero en un menor porcentaje, son los ODS 6 y 8 que fueron planteados como objetivos indirectos. En este punto, al momento de identificar las mejoras que se presentarían, se observa que un ODS importante al que se aportaría es el ODS 9, al que en un principio no se lo nombró pero que a lo largo del desarrollo de este trabajo, se puede apreciar que encaja perfectamente con la meta 9.4 de modernización de infraestructuras para generar industrias sostenibles.

Porcentaje de aportación a ODS

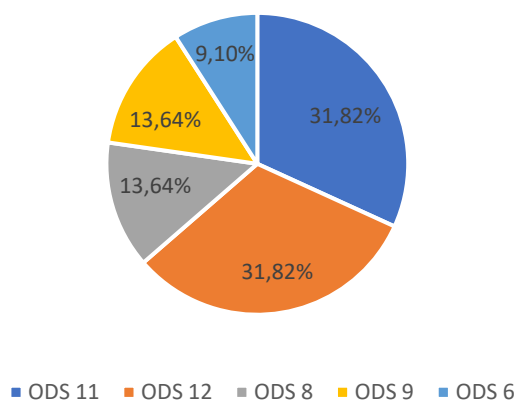


Fig. 41 Porcentaje de aportación a los ODS. Elaboración propia.

En cuanto a porcentajes de aportación a los ODS que se plantearon y de acuerdo con las soluciones que se han identificado, que cabe recalcar que pueda que existan muchas más que se las estén pasando por alto, pero que de manera general marca la tendencia de los grupos a los que más y menos aporta, se tiene que el 31,82% corresponden al ODS 11 y 12, el 13,64% corresponde al porcentaje de aportación a los ODS 8 y 9, y el 9,10 % de las aportaciones corresponden y tienen relación con el ODS 6.

7. Conclusiones

Las soluciones que se planteen para un determinado territorio deben tener una visión holística, lograr dar solución a las problemáticas puntuales existentes sin poner en riesgo el desarrollo de otras áreas, pensando que, en algún instante del desarrollo de las ciudades, todos los actores implicados, van a converger en un mismo punto en el que todos van a depender de todos. Así mismo, no es posible pensar en dar soluciones enfocadas en la consecución de un único ODS, y como en muchos casos una solución puede ayudar a un objetivo y perjudicar a otro, el punto está en que las soluciones actúen positivamente en una amplia gama de escenarios y disminuir los riesgos de efectos colaterales negativos.

Siendo las ciudades y áreas metropolitanas las que mayor crecimiento económico representan para un país y las que a su vez mayor contaminación y consumo de recursos generan, es indispensable que los gobiernos nacionales y locales cuenten con planes de acción adecuados para evitar que con la migración de las personas de zonas marginales a las ciudades exista un crecimiento urbano desordenado que traiga consigo problemas de desarrollo. El desarrollo de las ciudades conllevará a que estas se expandan y se incrementen las industrias y los negocios en todo el territorio, lo que significa que las personas van a necesitar cada vez de más recursos para su producción, es por ello por lo que se necesita crear una conciencia colectiva que, junto a políticas y leyes drásticas, logren la creación de una economía circular donde las materias primas permanezcan el mayor tiempo posible en la cadena de valor.

En cuanto a la información estadística de residuos sólidos que se tiene en las páginas oficiales de EUROSTAT, INE y la de los diferentes ayuntamientos, se puede decir que ninguna de ellas

se encuentra actualizada hasta el cierre de esta memoria (tercer trimestre del 2020), esto impide saber si los ODS se están o no cumpliendo, además no se puede saber si las medidas de mejora que se aplican están funcionando. Por otra parte, las empresas encargadas de los contenedores de residuos en Granada, sí que cuentan con datos más actualizados (publicados en sus memorias anuales) y son estos los que la mayoría de los medios de comunicación toman para sus reportes y publicaciones; esto lleva a plantearse la inquietud de qué tan veraces son los datos publicados por estas empresas. Para los dos casos, el uno de información desactualizada y el otro de la validez de los datos, las tecnologías propuestas de sistemas de comunicación, computación en la nube, datos abiertos e incluso el uso de blockchain, permitirán que la información estadística siempre se encuentre actualizada y que no se generen dudas de su veracidad.

El sistema actual de gestión de residuos en Granada un sistema muy mejorable debido a que el mismo ya cuenta con muchos elementos necesarios para ello; se tiene una gran distribución geográfica de contenedores, flotas de vehículos recolectores y plantas de tratamiento de residuos; el elemento que hace falta para potenciarlo es la comunicación en tiempo real de todas estas partes implicadas que permita un aumento en la eficiencia y eficacia de los procesos. En muchos casos se cuenta con datos muy relevantes pero que al ser tratados por separados pierden todo su valor potencial.

El modelado de procesos de cada una de las etapas del sistema que se ha presentado es muy útil ya que permite tener una visión clara de todos los actores que intervienen en el proceso y el rol que desarrollan, así como las relaciones que existe entre cada uno de ellos y el flujo de la comunicación. Además, este tipo de diagramas son de fácil comprensión lo que permite que sean socializados en cualquier departamento dentro de una empresa, municipio, ayuntamiento, etc.

Como se ha visto a lo largo de las diferentes secciones de esta memoria, la gestión de residuos implica varias áreas de estudio, lo que se traduce a que desde la academia se pueda realizar trabajos futuros en los diferentes departamentos. El departamento de telecomunicaciones podría trabajar en el despliegue de las redes de sensores, el departamento de sistemas y computación encargarse del desarrollo de las plataformas y aplicaciones, el departamento jurídico en la revisión de las leyes y el departamento de economía encargarse de la factibilidad y rentabilidad de los proyectos; todos ellos trabajando con una visión de solución global.

Si hablamos de proyectos puntuales que se podrían plantear como trabajos futuros, se puede tener el estudio de la factibilidad del uso de blockchain para la mejora de la cadena de valor en la gestión de residuos urbanos, la investigación detallada de la tecnología del internet del comportamiento IoB y cómo se podría usar la información generada por las personas con todas las implicaciones de privacidad que esto supone y por otra parte se puede realizar estudios económicos que permitan establecer cuáles de las tecnologías emergentes resultan rentables, tanto económica como funcionalmente, dependiendo del tipo de ciudad que se trate.

Finalmente decir que las tecnologías que se han presentado no son las únicas que se pueden aplicar para la mejora de los servicios y la consecución de los ODS, hay muchas más de las que no se han hablado como 5G, Edge Computing, realidad virtual, que sin duda su despliegue van a generar nuevas oportunidades de negocio, lo importante es que debe existir una investigación continua de ellas y la manera en que se las puede aplicar como se lo ha intentado hacer en este trabajo.

8. Bibliografía

- [1] ONU, «Nuestro Futuro Común», 1987.
- [2] M. Artaraz Miñón, «Teoría de las tres dimensiones del Desarrollo Sostenible», vol. 2, 2001.
- [3] J. Sachs, *La era del desarrollo sostenible*. Nueva York, 2014.
- [4] R. Mckeown, «Manual de Educación para el Desarrollo Sostenible», Knoxville, 2002.
- [5] C. D. López Ricalde, E. S. López Hernández, y I. Ancona Peniche, «Desarrollo sustentable o sostenible: una definición conceptual», *Horizonte Sanitario*, vol. 4, n.º 2. p. 28, 2014.
- [6] E. Gudynas, «Desarrollo sostenible: una guía básica de conceptos y tendencias hacia otra economía», *Otra Economía*, vol. 4, n.º 6. pp. 43-66, 2011.
- [7] P. Bettelli, «El desarrollo sostenible: un gran potencial presente y futuro», *Desafíos*, vol. 7, pp. 25-49, 2002.
- [8] ONU, «Objetivos de desarrollo del milenio. Informe de 2015», n.º 5, pp. 1-75, 2015.
- [9] J. A. Sanahuja, «La Agenda 2030 y los ODS: sociedades pacíficas, justas e inclusivas como pilar de la seguridad.» pp. 19-64, 2019.
- [10] ONU, «Informe de los objetivos del desarrollo sostenible», *Inf. los Objet. del Desarro. Sosten. 2019*, p. 64, 2019.
- [11] Á. de la Cruz-Mera, «La Agenda Urbana Española», *Ciudad y Territ. Estud. Territ.*, vol. LI, n.º 202, pp. 675-686, 2020.
- [12] World Federation of Engineering Organizations, «WFEO Engineering 2030. A Plan to Advance the Achievement of the UN Sustainable Development Goals Through Engineering», vol. 33, n.º 1, 2018.
- [13] ONU, «Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles». [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>.
- [14] D. Muñoz, «Ciudad sostenible, Ciudad inteligente. Retos y oportunidades frente al ODS11 - Ciudades y Comunidades Sostenibles», 2019.
- [15] ONU, «Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.» [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>.
- [16] M. Remacha, «Empresa y objetivos de desarrollo sostenible», *IESE Bus. Sch.*, p. 27, 2017.
- [17] ONU, «Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.» [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>.
- [18] C. Millan, «ODS 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos», 2018. [En línea]. Disponible en: <https://participamostransformamos.org/ods-6-garantizar-la-disponibilidad-de-agua-y-su-gestion-sostenible-y-el-saneamiento-para-todos/>.
- [19] ONU, «Objetivo 8: Promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo decente para todos». [En línea]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/economic-growth/>.
- [20] H. Redondo, B. Rubio, A. Sobaler, y L. Rojo, «Objetivos de Desarrollo Sostenible Desde una perspectiva empresarial», *Deloitte Dev. LLC*, pp. 1-34, 2018.
- [21] Organización Internacional del Trabajo, «Hora de actuar para conseguir el ODS 8. Integrar el

- trabajo decente, el crecimiento sostenido y la integridad ambiental.», 2019.
- [22] CELEC E.P, «Instructivo para la gestión de residuos sólidos», 2016.
- [23] INEI, «Anuario de Estadísticas Ambientales 2014. Residuos Sólidos», 2014.
- [24] Boletín Oficial del Estado, «LEY 10/1998, de 21 de abril, de Residuos.», vol. 96. pp. 9478-9479, 1998.
- [25] F. Kaza, Silpa; Yao, Lisa; Bhada-Tata, Perinaz; Van Woerden, *What A Waste 2.0. A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. 2018.
- [26] Eurostat, «Generación de residuos por categoría de residuos, peligrosidad y actividad de la NACE Rev.2», 2020. .
- [27] Observatorio de la Sostenibilidad en España, «Informe de Sostenibilidad en España 2011», 2011.
- [28] INE, «Cantidad per cápita de residuos recogidos por comunidades autónomas, periodo y clase de residuos». [En línea]. Disponible en:
<https://www.ine.es/jaxi/Tabla.htm?path=/t26/p069/p01/10/&file=02001.px&L=0>.
- [29] INE, «Cantidad de residuos urbanos recogidos clasificados por tipo de residuo, periodo y comunidades autónomas.», 2017. [En línea]. Disponible en:
<https://www.ine.es/jaxi/Tabla.htm?path=/t26/e068/p01/serie/10/&file=02003.px&L=0>.
- [30] MITECO, «Memoria anual de generación y gestión de residuos de competencia municipal», p. 72, 2017.
- [31] Ayuntamiento de Granada, «Gestión de residuos.», 2020. [En línea]. Disponible en:
<https://www.granada.org/inet/wambiente.nsf/resigrf>.
- [32] INAGRA, «Acumulado anual recogida selectiva por barrios 2019», 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.inagra.es/acumulado-reciclaje-selectiva-por-barrios-2019/>.
- [33] Junta de Andalucía, «Consecuencias de la generación de residuos.» [En línea]. Disponible en:
<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.30d4b35a97db5c61716f2b105510e1ca/?vgnextoid=afc5f103aaf98410VgnVCM2000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=5208c0726f767410VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnnextfmt=portalwebSinMenu>.
- [34] J. Zeta Zeta, A. Ipanaqué Zapata, L. Lazo Madrid, J. D. Negrón Abadié, y L. Solar Villalta, «Diseño del sistema de gestión de los residuos sólidos para la Udep-Campus Piura», p. 158, 2013.
- [35] Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente, «Programa Estatal De Prevención De Residuos», *Dir. Gen. Calid. y Evaluación Ambient. y Medio Nat.*, p. 32, 2013.
- [36] Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente, «Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos PEMAR (2016-2022)», *Bol. Of. Del Estado*, pp. 1-182, 2015.
- [37] M. Baleeiro, M. Rangel, y Y. L. Galiano, «Estudio estadístico de la gestión de residuos sólidos urbanos Europa, España e Irlanda», 2019.
- [38] MITECO, «Tipos de sistemas de recogida: Puerta a Puerta». [En línea]. Disponible en:
<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-recogida/Puerta-a-Puerta.aspx>.
- [39] MITECO, «Tipos de sistemas de recogida: Neumática». [En línea]. Disponible en:
<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-recogida/Neumatica.aspx>.
- [40] MITECO, «Tipos de sistemas de recogida: Puntos limpios». [En línea]. Disponible en:

- <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-recogida/Puntos-limpios.aspx>.
- [41] MITECO, «Tipos de sistemas de recogida: Recogidas comerciales». [En línea]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-recogida/Recogidas-comerciales.aspx>.
- [42] MITECO, «Tipos de sistemas de recogida: Recogidas específicas». [En línea]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-recogida/Recogidas-especificas.aspx>.
- [43] Ecoembes, «Ecoembes Hacia la revolución circular. Resumen Ejecutivo 2019», 2019.
- [44] Ecovidrio, «Informe sostenibilidad 2019.», 2019.
- [45] Ecovidrio, «Datos de reciclaje», 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.ecovidrio.es/reciclaje/datos-reciclaje>.
- [46] SIGRE, «SIGRE en cifras.», 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.sigre.es/conocenos#sigre-en-cifras>.
- [47] SIGFITO, «Memoria anual 2019.», 2019.
- [48] Generalitat de Catalunya Departament de Territori i Sostenibilitat; Agència de Residus de Catalunya, «Guía Práctica para el Diseño y la Explotación de Plantas de Compostaje», 2016.
- [49] M. C. Acosta, Yanaris; Obaya, «La Digestión Anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I», *Icidca*, vol. XXXIX, pp. 35-48, 2005.
- [50] E. Herrero, «Valorización energética del estiércol: dos casos prácticos de plantas de digestión anaerobia con gestión centralizada», n.º August, pp. 10-14, 2014.
- [51] G. González, «Optimización del proceso de incineración de residuos sólidos municipales», Universidad Autónoma Metropolitana, 2003.
- [52] S. López, «Planta de Incineración de Residuos Sólidos Urbanos a partir de una Tecnología de Parrilla», Universidad de Sevilla, 2018.
- [53] K. Göransson, U. Söderlind, J. He, y W. Zhang, «Review of syngas production via biomass DFBGs», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, n.º 1, pp. 482-492, 2011.
- [54] N. Tangri y M. Wilson, «Gasificación y pirólisis de residuos : procedimientos de alto riesgo y baja rentabilidad para el tratamiento de residuos», *Gaia*, vol. 1, pp. 1-18, 2017.
- [55] AGROWASTE, «Gasificación», 2013. [En línea]. Disponible en: <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/GASIFICACIÓN.pdf>.
- [56] T. Berenic. Millan Casas, «Estudio de Factibilidad Técnica y Económica de una Planta de Pirolisis para la Valorización Energética de Residuos Sólidos Urbanos en el Distrito Federal», p. 58, 2014.
- [57] G. Armengol y F. Oriol, «Situación y potencial de valorización energética directa de residuos. Estudio Técnico PER 2011-2020.», 2011.
- [58] M. Del Pozo Manrique, «Selección de emplazamientos para vertederos controlados», *Inf. la Construcción*, vol. 42, n.º 412, pp. 23-40, 1991.
- [59] Geotexan, «Geotextiles en vertederos. Cumpliendo con la normativa.», 2019. [En línea]. Disponible en: <https://geotexan.com/geotextiles-en-vertederos-cumpliendo-con-la-normativa/>.
- [60] Diputación de Granada, «Instalaciones de diputación de Granada». [En línea]. Disponible en: http://residuos-dipgra.es/instalaciones_diputacion.php.

- [61] Gobierno de España, red.es, SEGITTUR, EQi, y IDAE, «Plan Nacional de Ciudades Inteligentes», p. 39, 2015.
- [62] C. F. M. Bouskela, Mauricio; Casseb, Márcia; Bassi, Silvia; De Luca, *La ruta hacia las smart cities: Migrando de una gestión tradicional a la ciudad inteligente*. 2016.
- [63] ONTSI, «Estudio y Guía metodológica sobre Ciudades Inteligentes». p. 248, 2015.
- [64] eSMARTCITY, «Servicios de Ibermática en el ámbito de las smart cities.», 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.esmartcity.es/biblioteca/servicios-ibermatica-ambito-smart-cities/servicios-ibermatica-ambito-smart-cities-2>.
- [65] N. B. Aletà, C. M. Alonso, y R. M. A. Ruiz, «Smart Mobility and Smart Environment in the Spanish cities», *Transp. Res. Procedia*, vol. 24, pp. 163-170, 2017.
- [66] F. Pérez Prada, G. Velázquez Romera, V. Fernández Añez, y J. Dorao Sánchez, «Movilidad inteligente», *Econ. Ind.*, n.º 395, pp. 111-121, 2015.
- [67] N. V. Lopes, «Smart governance: A key factor for smart cities implementation», *2017 IEEE Int. Conf. Smart Grid Smart Cities, ICSGSC 2017*, pp. 277-282, 2017.
- [68] G. V. Pereira, P. Parycek, E. Falco, y R. Kleinhans, «Smart governance in the context of smart cities: A literature review», *Inf. Polity*, vol. 23, n.º 2, pp. 143-162, 2018.
- [69] J. Samaniego, «Así es el papel reservado al “smart government” en la construcción de las “smart cities”», 2018. [En línea]. Disponible en: <https://hablemosdeempresas.com/grandes-empresas/smart-government-en-smart-cities/>.
- [70] Universidad de Alicante, «Smart Environment: Un entorno de calidad de vida.» [En línea]. Disponible en: [https://web.ua.es/es/smart/smart-environment-un-entorno-de-calidad-de-vida.html#:~:text=%22El ámbito Smart Environment se,de controlar y racionalizar el](https://web.ua.es/es/smart/smart-environment-un-entorno-de-calidad-de-vida.html#:~:text=%22El%20ámbito%20Smart%20Environment%20se,de%20controlar%20y%20racionalizar%20el).
- [71] V. A. Gómez y C. Hernández, «Visión General , Características y Funcionalidades de la Red Eléctrica Inteligente (Smart Grid) Overview , Features and Functionalities of the Smart Grid», *Inf. Tecnológica*, vol. 29, n.º 2, pp. 89-102, 2018.
- [72] HomeServe, «Qué es Smart Water», 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.homeserve.es/blog-empresas/2018/11/21/que-es-smart-water>.
- [73] I. Uribe, «Smart Living: Conecta con un estilo de vida inteligente», 2019. [En línea]. Disponible en: <https://secmotic.com/smart-living-conecta-estilo-de-vida-inteligente/#gref>.
- [74] V. Ruiz, «¿Qué es la e-Salud y qué ventajas nos ofrece?», 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.radioncologa.com/2015/01/que-es-la-e-salud-y-que-ventajas-nos-ofrece/>.
- [75] EVALUANDOSOFTWARE, «El desarrollo del turismo electrónico (e-tourism)», 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.evaluandosoftware.com/desarrollo-del-turismo-electronico-e-tourism/>.
- [76] L. C. Fernández Aquino, *E-Accesibilidad Y Usabilidad De Contenidos Digitales. Por Una Sociedad De La Información Y El Conocimiento No Excluyente*. 2009.
- [77] CGLU, «Smart Cities Study: Estudio internacional sobre la situación de las TIC, la innovación y el Conocimiento en las ciudades». pp. 1-130, 2012.
- [78] Universidad de Alicante, «Smart Economy: Economía Inteligente», 2020. [En línea]. Disponible en: <https://web.ua.es/es/smart/smart-economy-economia-inteligente.html>.
- [79] Universidad de Alicante, «Smart People: Comunidad Senspeople», 2020. [En línea]. Disponible en: <https://web.ua.es/es/smart/smart-people-comunidad-senspeople.html>.
- [80] E. Ontiveros, D. Vizcaíno, y V. López Sabater, *Las ciudades del futuro: inteligentes, digitales*

- y sostenible. 2016.
- [81] S. Madakam, R. Ramaswamy, y S. Tripathi, «Internet of Things (IoT): A Literature Review», *J. Comput. Commun.*, vol. 03, n.º 05, pp. 164-173, 2015.
- [82] T. hoon Kim, C. Ramos, y S. Mohammed, «Smart City and IoT», *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 76, n.º July 2014, pp. 159-162, 2017.
- [83] I. Lee y K. Lee, «The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises», *Bus. Horiz.*, vol. 58, n.º 4, pp. 431-440, 2015.
- [84] C. Kidd, «What Is the Internet of Behavior? IoB Explained», 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.bmc.com/blogs/iob-internet-of-behavior/#:~:text=The Internet of Behavior extends,provided through a company's app>.
- [85] A. Gandomi y M. Haider, «Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics», *Int. J. Inf. Manage.*, vol. 35, n.º 2, pp. 137-144, 2015.
- [86] J. J. Camargo Vega, J. F. Camargo Ortega, y L. Joyanes Aguilar, «Arquitectura Tecnológica Para Big Data», *Rev. Científica*, vol. 1, n.º 21, p. 7, 2015.
- [87] N. C. Marin, «EL BIG DATA Y LOS ODS», 2020.
- [88] L. Rouhiainen, *Inteligencia artificial. 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro*. Barcelona, 2018.
- [89] D. Benítez, Raúl; Escudero, Gerard; Kanaan, Samir; Masip, *Inteligencia artificial avanzada*. 2014.
- [90] K. Jadeja, Yashpalsinh; Modi, «Cloud computing - Concepts, Architecture and Challenges», *2012 Int. Conf. Comput. Electron. Electr. Technol.*, pp. 877-880, 2012.
- [91] S. Satyanarayana, «Cloud Computing : Saas», *GESJ Comput. Sci. Telecommun.*, vol. 4, n.º 36, pp. 76-79, 2012.
- [92] N. Charritton, «Cloud Computing. Modelos de Plataforma como Servicio», Instituto Tecnológico de Buenos Aires, 2012.
- [93] M. L. T. . Alicherry, «Net work Aware Resource Allocation in Distributed Clouds», *2012 Proc. IEEE INFOCOM*, pp. 963-971, 2012.
- [94] P. Khethavath, J. Thomas, E. Chan-Tin, y H. Liu, «Introducing a distributed cloud architecture with efficient resource discovery and optimal resource allocation», *Proc. - 2013 IEEE 9th World Congr. Serv. Serv. 2013*, pp. 386-392, 2013.
- [95] T. Ahram, A. Sargolzaei, S. Sargolzaei, J. Daniels, y B. Amaba, «Blockchain technology innovations», *2017 IEEE Technol. Eng. Manag. Soc. Conf. TEMSCON 2017*, pp. 137-141, 2017.
- [96] M. Samaniego y R. Deters, «Blockchain as a Service for IoT», *Proc. - 2016 IEEE Int. Conf. Internet Things; IEEE Green Comput. Commun. IEEE Cyber, Phys. Soc. Comput. IEEE Smart Data, iThings-GreenCom-CPSCom-Smart Data 2016*, pp. 433-436, 2016.
- [97] L. Saberi, Sara; Kouhizadeh, Mahatab; Sarkis Joseph; Shen, «Blockchain technology ant its relationships to sustainable supply chain management», *Int. J. Prod. Res.*, vol. 57, n.º 7, pp. 2117-2135, 2019.