UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA

GRADO EN INGENIERÍA DE LOS RECURSOS MINEROS

CURSO ACADÉMINO 2017/2018

Trabajo Fin de Grado:

Tema: "Estudio técnico sobre biodigestores anaeróbicos, aplicado al tratamiento de la fracción orgánica de los residuos municipales".

CONVOCATORIA DE JUNIO

Autor: Alfredo San Millán Cossío.

Tutor: Carlos Rico de la Hera.

28/06/2018

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN. 1

1.1.- SOCIEDADES Y CONSUMO. 1

1.2.- GENERACIÓN DE RESIDUOS URBANOS DOMÉSTICOS, LOCALES E INDUSTRIALES. .. 3

1.3.- PROBLEMÁTICA ACTUAL DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS. 6

1.4.- INTRODUCCIÓN A LA DIGESTIÓN ANAEROBIA. 10

2.- RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) Y BIORRESIDUOS. 13

2.1.- CARACTERÍSTICAS Y PRODUCTORES DE LOS RSU. 13

2.2.- SEPARACIÓN EN ORIGEN Y RECOGIDA SELECTIVA DE RSU. 19

2.3.- TECNOLOGÍAS DE GESTIÓN Y TRATAMINETO DE RSU ENFOCADO A LOS BIORRESIDUOS. 24

3.- DIGESTIÓN ANAEROBIA. 28

3.1.- PROCESO Y PARÁMETROS DE LA BIODIGESTIÓN ANAEROBIA. 28

3.2.- PRODUCCIÓN DE BIOGAS. 32

3.3.- TIPOS DE DIGESTIÓN ANAEROBICA, VENTAJAS E INCONVENIENTES. 36

4.- SUPUESTO PRÁCTICO DE APLICACIÓN DE LA BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA A LOS R.S.U EN CANTABRIA. 44

4.1.- DATOS DE PARTIDA. 44

4.2.- INSTALACIÓNES Y FUNCIONAMIENTO DEL TRATAMINETO ANAERÓBICO EN MEDIO SECO. 47

4.3.- OPERACIONES EN LOS DIGESTORES, PRODUCCIÓN, POTENCIA Y ESTABILIDAD DEL PROCESO. 53

5.- CONCLUSIÓN Y VALORACIÓN. 58

6.- BIBLIOGRAFÍA DEL TRABAJO. 60

Trabajos citados 60

1.- INTRODUCCIÓN.

1.1.- SOCIEDADES Y CONSUMO.

Hoy en día, formamos parte de sociedades de consumo y como individuos de las mismas, es difícil escapar al alto tren de vida, así como la gran cantidad de residuos de todo tipo, que se generan y que en muchos casos se dejan atrás para el avance de estas sociedades consumistas, que nos ofrecen una gran cantidad de productos, herramientas y servicios, para desarrollar muestra vida más cómodamente y acorde con el medio en continua actualización que nos envuelve.

Así bien, si esta gran cantidad de objetos o útiles vitales de todo tipo, que aprovechamos para avanzar de la mano de la modernización en nuestras casas, municipios, ciudades, países y sociedades culturales más globales, nos llevan proporcionando la prosperidad durante muchas décadas; también llevamos otro tanto de las mismas, siendo conscientes inevitablemente de la lacra que suponen los residuos generados para llegar hasta aquí y de la necesidad de comenzar a desarrollar y optimizar tratamientos que hagan posible la prevención, reducción y reutilización de todos aquellos productos de todo tipo que son desechados tras ser consumida la parte aprovechable para nosotros de los productos que conformaban en origen. Siendo responsables y conscientes de la necesidad de reutilización y reciclaje para un desarrollo sostenible que nos permita acabar con la problemática medioambiental que en muchos casos generamos al hacer un mal uso de nuestra tecnología, una mala gestión de nuestros recursos productivos y un tratamiento ambientalmente ineficiente para con nuestro entorno natural, donde se desarrollan el resto de formas de vida y ciclos naturales que nos rodean, e incluso para nuestro propio entorno urbano.

A parte de las ideas ligeramente mencionadas con anterioridad, como lo son la prevención, reducción y reutilización de la cantidad de residuos que son generados, así como la necesidad de mejores procesos para la gestión de los mismos y para con el medio ambiente; otra idea que también va en esta línea, pero que ataca desde otro flanco, es la del consumo responsable por parte de todos los mienbros de la sociedad. En este sentido, se pueden llevar a cabo una serie de medidas por parte de los ciudadanos, para reducir la cantidad de residuos generados. Se puede optimizar el tipo de envase, para evitar la perdida de los productos que contengan una vez abierto, lanzar campañas de información al consumidor para que sepa como mantener el producto en las mejores condiciones el máximo de tiempo, priorizar las ventas de los productos por razones de calidad y seguridad alimentaria, la venta a granel frente a los productos envasados, optimizar el tamaño de las raciones para que el consumidor pueda comprar la cantidad justa de alimento que necesita en función de los diferentes tamaños de los hogares, mejorar la indicación de las fechas de consumo en productos perecederos y campañas de información sobre interpretación de fechas de consumo preferente y de caducidad, tamaño adecuado de las porciones, aprovechamiento de las sobras y en definitiva, educar a los consumidores para mejorar los criterios y elecciones valorativas a la hora de hacerse con un producto de carácter alimentario o no. [6]

Una vez conscientes de la problemática medioambiental que se lleva gestando durante tanto tiempo, como se hace ver ligeramente sobre estas líneas y algunas de las alternativas que salen al paso de esta problemática, se pasa a hablar sobre una serie de factores y términos relacionados íntimamente con el tema; en lo referido específicamente al tratamiento de residuos sólidos hurbanos (RSU) y más tarde, para el proceso de aprovechamiento de residuos que vamos a explicar en este trabajo, los de tipo orgánico, es decir, aquellos compuestos por elementos biodegradables de origen orgánico, llamados biorresiduos, ya se den estos en un ámbito de generación urbano, que será el que nos ocupe es este estudio, o no. [1]

1.2.- GENERACIÓN DE RESIDUOS URBANOS DOMÉSTICOS, LOCALES E INDUSTRIALES.

Una vez definido lo que es un biorresiduo y enfocándonos hacia el estudio de las causalidades que hacen posible la existencia de los mismos en los ámbitos urbanos o municipales, nos aventuramos a definir las diferentes fracciones de residuos orgánicos urbanos en función de su naturaleza y sus tratamientos de gestión aplicables a los residuos, según su logística de recogida y temporalidad de generación.

Por tanto, según su naturaleza, se incluye la fracción vegetal proveniente de zonas verdes de ámbito tanto público como privado, compuesta por restos vegetales de pequeño tamaño y tipo no leñoso, como de restos vegetales de jardinería y poda de mayor tamaño y tipo leñoso. Ambos compuestos principalmente de celulosa y con un 50%-60% de humedad.

Por otra parte aquí también se incluyen los residuos de origen alimentario y de cocina, como lo son los restos de la preparación de comida, el desperdicio alimentario, la manipulación y elaboración de productos alimentarios procedentes de la industria de alimentación y bebidas, alimentos en mal estado y excedentes de la industria productora o comercializadora no consumidos a tiempo. Pueden ser de gran variedad, con hasta un 80% de humedad y un porcentaje en contenido de celulosa muy bajo.

Según sus tratamientos, en base a la logística de su recogida y temporalidad de la misma, se cuenta con esta fracción orgánica compuesta por restos de origen alimentario y vegetales de pequeño tamaño, para la cual se llevan a cabo recogidas estándar pasando a formar parte de la fracción orgánica separada, en tal caso. Y los restos de poda o vegetales de mayor tamaño, los cuales sufren recogidas de la fracción orgánica que también conforman, de forma más orientada a la temporalidad o necesidad funcional.

La distribución en la generación de biorresiduos nos permite obtener conclusiones como el nivel de vida de la población generadora de los mismos o su localización.

A nivel global los datos no están muy unificados, ya que en los países menos desarrollados no se tiene un control de la generación de los mismos, sin embargo, se

estima que se generan unos 1,4 billones de toneladas de residuos sólidos urbanos anualmente, de los que el porcentaje de residuos orgánicos varía en función del nivel de desarrollo de cada país entre un 30%-70%, con un aumento en este porcentaje de una manera inversamente proporcional al grado de desarrollo del país objeto de estudio por lo general.

Esto es debido a las diferencias en los materiales utilizados en construcción entre países más y menos desarrollados, los cuales suelen utilizar materiales biodegradables como la madera. Y también a la superficie destinada a la producción agrícola, más extendida en los lugares del mundo más desfavorecidos que cuentan con una cantidad más reducida de grandes núcleos urbanos.

En lo referido a la generación total de residuos, esta es mayor en países desarrollados, según informes de "Waste Management World" (WMW) [1], que atendiendo al nivel económico de cada país, representa la cantidad de residuos generados por habitante en kilogramos, en función de los ingresos de cada país, según la siguiente gráfica. Véase: Figura 1.

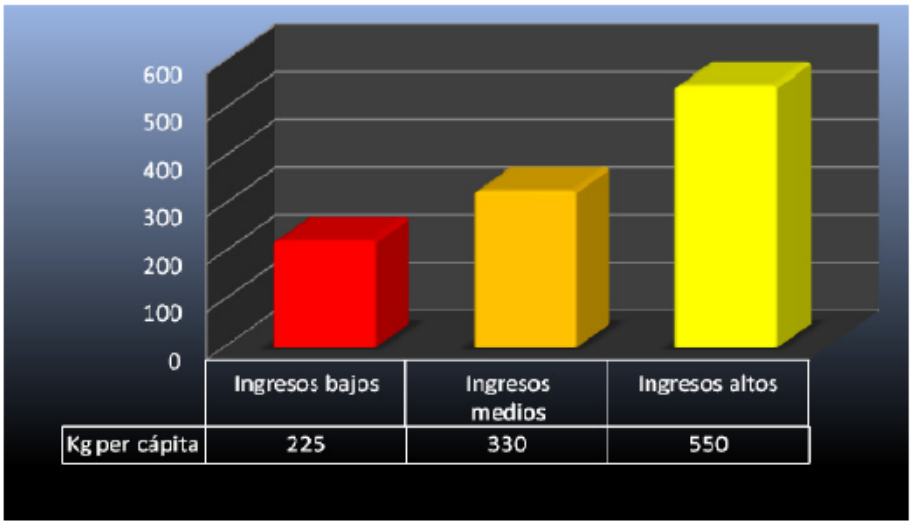

Figura 1. *Estimación de cantidades de residuos generados (kg per cápita/año) en función de los ingresos. [1]*

En la Unión Europea, los datos de producción de residuos hablan, en cifras aproximadas, de unos 140 millones de toneladas, de las cuales 88 millones serían de origen municipal y 37 corresponderían a la industria alimentaria y de bebidas, con un incremento de producción total en porcentaje anual de un 22% aproximadamente. [1] Lo que realizando unos cálculos básico, vendría a decir que el crecimiento se duplicaría cada menos de 5 años hasta su estabilización.

Sabiendo esto y que entorno a un 30%-40% de la media anual de generación de residuos son de competencia municipal, de los cuales solo un 20% son utilizados como recursos bioenergéticos en algunos países de la U.E. [1], nos da una idea del camino que queda por recorrer en lo referente al tema de gestión de biorresiduos; siendo España uno de los países que se encuentra a la cola, a la hora de llevar a cabo la aplicación de estas técnicas de tratamiento y gestión de biorresiduos de procedencia municipal, para la obtención de un rendimiento mediante la aplicación de procesos de recogida selectiva, compostaje o digestión anaerobia. Véase: Figura 2.

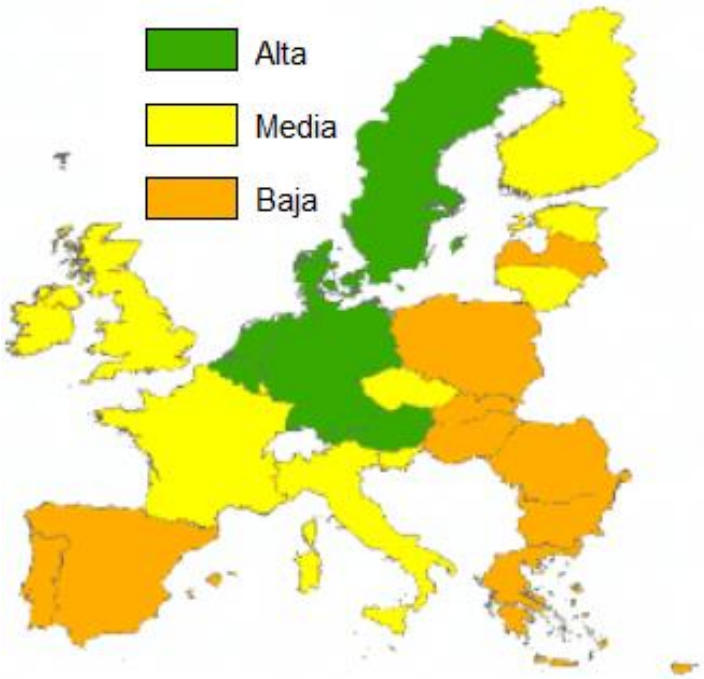

Figura 2. *Implantación en la sociedad del reciclaje en los estados miembros de la UE. [2]*

1.3.- PROBLEMÁTICA ACTUAL DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS.

Desde que un útil deja de ser objeto de satisfacción de una necesidad para nosotros, este se convierte en un residuo con una problemática asociada a su gestión.

Para la gestión de residuos, de acuerdo con la directiva europea 2008/98/EC, se establecen unos principios jerárquicos de tratamiento de los mismos, siendo aplicados prioritariamente desde el primero hasta el último, para una gestión medioambiental correcta. Estos son: reducción, reutilización, recuperación o reciclado, (valorización energética) y vertido o eliminación por medio de plantas de incineración de residuos.

Toda esta serie de tratamientos aplicados a la gestión de residuos busca hacerse con los medios necesarios para reducir la problemática que estos generan, ya sea de tipo ambiental, económica o social, en base a medidas de prevención que reducen la posibilidad de que fracasen las pertinentes actuaciones llevadas a cabo en cada uno de los principios jerárquicos del tratamiento de residuos anteriormente nombrados, sobre estas líneas.

Según la directiva europea de la cual parte la ley 22/2011, en su artículo 8 para la gestión de residuos, en primer lugar, interesa reducir la cantidad de residuos que se generan hoy en día en nuestros países y sociedades; para que las actuaciones que se tengan que llevar posteriormente a cabo presenten una menor relevancia económica y de gestión. Para esto, el principio de reducción de la cantidad de residuos generados en las distintas actividades ha de aparecer durante todo el proceso de producción y no solo cuando el bien producido se convierta en residuo.

Tras esto, se llevan a cabo las siguientes tres opciones de valorización de los residuos: Empezando por la reutilización, la cual se basa en la reintroducción de ese residuo al mercado como posible subproducto. Siguiendo por el reciclado, que consiste en un conjunto de transformaciones físicas o químicas de los materiales que componen el residuo para que pueda volver a ser utilizado como producto; para este proceso, se cuenta con una serie de etapas que se dan en la cadena de reciclaje, llamado así al ciclo que hace posible que se materialize efectivamente el reciclado. En la cadena de reciclaje

se tiene en cuenta el origen del residuo; donde se produce, puede ser en nuestros hogares, bares, centros comerciales o en la industria. Pudiendo ser este de cualquier tipo, mezclado o no, peligroso o no. Y acabando con la recuperación, referido a la recogida del residuo. Puede ser a través de empresas de transporte públicas o privadas. Recogida selectiva y no selectiva, urbana o industrial. [3]

La planta de clasificación: los residuos llegan mezclados unos con otros a estas plantas. Gracias a diversos automatismos y triajes manuales se consigue una separación de residuos, que no llega al 100%, aunque en algunos casos alcanza altos niveles de separación, óptimos para el proceso sucesivo.

El reciclado final: una vez separado el residuo por tipos, cada fracción valorizable se transporta para reciclaje (papel, cartón, plástico, madera) o para la producción de energía (biogás, biomasa, pirólisis). Los residuos no valorizables, o que no han podido separarse y no tienen aprovechamiento, se llevan a depósitos controlados en los que serán vertidos y permanecerán por décadas mientras sufren el proceso natural de biodegradación.

El proceso de reciclado en los distintos materiales que han sido víctima de los procesos de separación llevados a cabo en la cadena de reciclaje, se materializa en los mismos para el caso del papel y cartón, que una vez libre de los restos de tinta y grapas sirven para la creación de nuevo papel y cartón por la recuperación de las fibras de celulosa que los componen. El plástico, el cual una vez separado es limpiado y troceado, siendo convertido en pequeñas bolitas a las cuales, más tarde, por diferentes métodos, son convertidas en nuevos productos plásticos. El vidrio, que una vez limpio se funde a altas temperaturas para producir nuevos productos. La fracción orgánica, se trata en procesos de compostaje o biometanización, obteniendo como resultado abono natural o gas para la producción energética. Aparatos eléctricos, los cuales son separados ya que requieren un tratamiento especial ya que podrían contener materiales tóxicos y están sujetos a un régimen de recogida selectiva, tal como indica el símbolo del cubo de basura tachado que en ellos nos

podemos encontrar. Los escombros, que representan un alto porcentaje de los residuos generados, denominados RDC “residuos de la construcción y demolición” y se reciclan mediante la aplicación de procesos mecánicos con el fin de separar los residuos por tipo y tamaño para futuras aplicaciones en otros usos como estabilización de suelos, rellenos, etc. Los metales, sufren separación los ferrosos de los no ferrosos, para su posterior limpieza y fundición para conformar futuras piezas, estructuras o partes de elementos constructivos. Finalmente, la fracción resto o mezclada, de origen tanto doméstico, comercial, industrial o público, compuesto por la conjunción de todos los residuos anteriormente nombrados, son debidamente tratados para su reciclaje y los sobrantes dispuestos en vertederos. [4]

Por último, otro de los principios planteados en el proceso de gestiós de los residuos, es el proceso de valorización energética de los residuos, que se da cuando ninguna de las anteriores opciones de reutilización y reciclaje es posible y se procede a la propia utilización de los residuos como combustible. Pudiendo llevarse a cabo alguno de los siguientes procesos:

Incineración, que consiste en la oxidación total de los residuos a temperaturas superiores a 850ºC según la normativa europea. [5] Se realiza en plantas incineradoras de residuos, con aprovechamiento, o no, de la energía producida, en cuyo caso se habla de valorización energética. Este proceso, se hace efectivo en plantas, que procesan un alto porcentaje de los residuos urbanos, y los utilizan como recuperación energética de una fuente neutra de carbono, alternativa a los combustibles fósiles, utilizándose finalmente y por lo general, esta energía producto del proceso endotérmico de combustión, para la generación de calor y/o electricidad.

En el proceso de incineración, los biorresiduos se incineran normalmente como parte de los RSU. Según su eficiencia energética, la incineración puede considerarse recuperación de energía o eliminación. Dado que la eficiencia de la incineración se reduce por la presencia de biorresiduos húmedos, es preferible retirar los biorresiduos de los residuos urbanos. Por otra parte, los biorresiduos incinerados se consideran combustible renovable neutro en carbono, como se menciona

anteriormente, y con arreglo a la Directiva sobre Electricidad Renovable y a la propuesta de Directiva relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables “FER”. [3] Para incrementar la eficiencia de los residuos en el proceso de incineración, han de conocerse en el caso de los residuos humedos de carácter orgánico o biorresiduos, su composición, pH y porcentaje de humedad, como datos de importacia para conocer la características existentes como base de partida para el calculo del rendimieno del proceso mismo de incineración.

Tratamiento biológico, compostaje y digestión anaerobia, pueden clasificarse como reciclado cuando el compost o digestato, se utiliza para la producción de sustratos de cultivo. Si no se prevé ese uso, debe clasificarse como pretratamiento antes del depósito en vertederos o la incineración. El compostaje es la opción de tratamiento biológico más común y más adecuado para residuos verdes y material leñoso.

Digestión anaerobia, que produce biogás para fines energéticos, debe considerarse recuperación de energía, es adecuada para el tratamiento de biorresidos húmedos, incluidas las grasas. Produce una mezcla de gases (principalmente metano entre un 50 % y un 75 % y dióxido de carbono) en reactores controlados. Gracias al biogás generado en el proceso de biodigestión, se pueden reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, si se utiliza como biocombustible para el transporte, generación eléctrica o se inyecta directamente en la red de distribución de gas. El residuo del proceso de generación de biogás o biometanización, el digestato, puede compostarse y utilizarse como compost, mejorando así la recuperación productiva global de los residuos incluidos en el proceso. [3]

Llegados a este punto, hemos de tener en cuenta también como vamos a realizar la recogida separada o selectiva de los residuos, como paso previo a la implantación de nuestro sistema de valorización energética de la fracción orgánica de los residuos captados, teniendo en mente, todo lo que, en cuanto al diseño, instalaciones, dimensionamiento de las mimas, producción y rendimiento se refiere.

El paso final que se da con los residuos que no cuentan ya con la capacidad de ser valorizados de alguna de las maneras explicadas con anterioridad, es la eliminación.

Esto se lleva a cabo mediante el traslado de los residuos a una planta de incineración (sin recuperación energética, caso de eliminación) o su depósito en vertedero. Los vertederos son emplazamientos naturales o artificiales, especialmente dispuestos para el almeacenamiento prolongado y descomposición de los residuos, dando lugar a gases y lixiviados, los cuales, si no son capturados, el alto porcentaje en gas metano que contienen, favorecerá en gran medida al efecto invernadero. Por lo cual, esta es considerada como la peor opción según la jerarquía de gestión de residuos, aunque la más utilizada todavía en muchos países de la UE, donde todavía hasta un 41% de los RSU, son depositados. [1]

1.4.- INTRODUCCIÓN A LA DIGESTIÓN ANAEROBIA.

Una vez hablado en los puntos anteriores de los procesos para la correcta gestión de los RSU y las diferentes alternativas a las que son aplicables los mismos, en función de las capacidades con las que contemos para su aprovechamiento, nos vamos a centrar en explicar una de ellas, como es la digestión anaerobica de las fracciones orgánicas o biorresidos de los que venimos hablando, con el fin de de realizar en el proceso una generación de biogás a partir de RSU selectivamente recogidos en un término municipal o CCAA, que se tomará de ejemplo para las sucesivas explicaciones de como realizar esta actividad y los frutos que se recogen con la buena práctica de la misma. De algo que hace años se veía tan inservible, como lo eran los residuos, cuyo fin sin más justificación, proceso o estudio era el vertedero o las incineración, obteniendo un mínimo rendimiento de los mismos.

Según datos de la comisión europea para del desarrollo en la gestión de materia orgánica o biorresidos [3], en Europa, a fechas del 2016, solo el 5% de los biorresidos se reciclaban, lo que representa un porcentaje muy bajo de las toneladas anuales de biorresiduos que se producen en todos los países que forman la unión, en torno a 140

millones de toneladas anuales. Ante esta situación, en algunos de los países más avanzados de la Unión Europea, se llevan años desarrollando e implantando algunos sistemas para el tratamiento de estos biorresidos. Orientando los procesos hacia la biodigestión anaeróbica, ya que, aunque es un tratamiento que requiere mayor nivel de sofisticación, también proporciona un mejor resultado en términos de generación de biogás, residuo indigestible, tiempos y rendimientos.

Sin más dilación y a modo de proporcionar unas directrices generales sobre lo que conlleva el proceso de digestión anaeróbica de los residuos orgánicos procedentes de la recogida selectiva de las basuras municipales, se pasa a realizar una descripción del mismo bajo estas líneas.

La digestión anaeróbica consiste en varios procesos que se desarrollan en ausencia de oxígeno, mediante los que un conjunto de microorganismos degrada la materia biodegradable o biorresidos, introducida dentro de un reactor o digestor, dando como resultado una producción de biogás con un alto porcentaje de metano en su composición, así como un residuo sólido llamado digestato. Este proceso como se dijo con anterioridad se viene realizando desde años atrás en algunos países de la UE, como forma de trato a los residuos orgánicos que generan las poblaciones, así como también a otros residuos, como lo son los de índole industrial, lodos residuales de depuración…

En todos los casos en los que se aplique el proceso, las características de las plantas de DA que lo llevan a cabo, pueden tener distintas configuraciones. Entre algunas de ellas, destacan las que dividen los biorresiduos a tratar en lotes o conjuntos de materia orgánica para su procesado, de manera que tras la introducción de estos en el biorreactor, este se sella durante todo el proceso digestor. A diferencia de los biorreactores que funcionan mediante un sistema de digestión continua, en el que la materia se introduce continuamente, dando lugar a una producción de biogás de la misma índole, continua.

Un factor a tener en cuenta es también el porcentaje de contenido en sólidos para el cual está configurado el funcionamiento de digestor, ya vaya a ser un proceso en el que el sustrato que va a ser introducido sea por medio seco o húmedo, lo que conlleva la

constitución de diferentes procesos para organizar la circulación de la materia orgánica sin mayores problemas que puedan dar lugar a obstrucciones dentro de los circuitos de circulación, etc.

La temperatura, según en el rango en el que se encuentre (20-45ºC o 45-70ºC). Da lugar a diferentes tipos de microorganismos dentro del digestor, lo que tiene su efecto en la cantidad de producción de biogás, así como en la cantidad de patógenos que esté presente. Y que la digestión cuente con una sola etapa, un único digestor o múltiples, más de uno digestor, permite tener un mejor control sobre las sucesivas reacciones que tiene lugar durante la digestión y el control de los parámetros e importancia en cada una de ellas.

Estas diferentes configuraciones, han de adaptarse a distintos parámetros técnicos como lo pueden ser la naturaleza de la materia prima de entrada, la presencia de patógenos, la producción de biogás o a restricciones técnicos o económicas dadas en el proceso.

La industria y todo lo afín, en los términos municipales, a la alimentación y la bebida, producen una muy variada cantidad de residuos que ofrecen un gran potencial para la producción de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia. Pero no todos estos residuos, presentan un potencial metanogénico, que pueda aportar una contribución significativa a la producción de biogás. Esta cantidad de producción del gás, aportada o no en el proceso, depende mucho del potencial de putrefacción de la materia insertada en el proceso.

Lo que tratándose de una fracción orgánica adecuada y bien caracterizada con vista a afinar las líneas entre las que se llevara a cabo el proceso para la producción del gas, podemos posicionar este sistema, como una de las alternativas interesantes, principalmente en función de las condiciones de presentación del subproducto susceptible de ser consumido en este proceso, sus costes de transporte, tiempo de degradación, porcentaje de humedad contenida…[3]

2.- RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) Y BIORRESIDUOS.

2.1.- CARACTERÍSTICAS Y PRODUCTORES DE LOS RSU.

La composición de los RSU es enormemente variable, ya que en ella influyen una serie de factores muy diversos. Algunos de los principales factores según los cuales se distingue la tipología y cantidad de RSU generados, así como su propiedades físicas, químicas o biológicas, son:

- Las características de la población: localización (zona urbana o rural), cantidad de habitantes, localización geográfica en el globo terraqueo (clima), tipo de actividad principal llebada a cabo en la población (área residencial, comercial, industrial, turística, etc).
- Nivel de desarrollo socio-económico de la población: hábitos de consumo, información en campañas sobre procesos de optimización de reciclado y consumo responsable, concienciación socia, nivel de vida, desarrollo tecnológico de la sociedad…
- Época de produción de los residuos: los diferentes periodos estacionales hacen variar la composición de la RSU generados, más concretamente la fraccíon puramente orgánica de los mismos en mayor medida que las otras.
- Factores socio-culturales específicos: estos factores pueden marcar ciertas diferencias en lo relativo a la genereción de qué tipo de residuos y cantidades de los mismos, gereran sociedades humanas culturalmente distintas con un grado de desarrollo prácticament equitativo.

Esta serie de factores, entre otros que afectan en menor medida a la generación de RSU de naturalezas variadas con diferentes procedencias y propiedades, han de ser tenidos en cuenta, para los posteriores procesos de tratamiento y transformación, así como para el diseño y desarrollo de sistemas de gestion integrada de residuos, para el tratar los RSU en función, ahora sí, de las caracteristicas tanto físicas, químicas como biológicas que los condicionan. [7]

Estas características, mencionadas anteriormente, clasifican los residuos en función de parámetros identificativos generales, como lo son el grado de humedad, peso específico, granulometría, para el caso de la propiedades físicas. La composición química (contenido en carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígenio, azufre…), nutrientes esenciales y poder calorífico, en el caso de las propiedades químicas. Y el grado de biodegradabilidad de los componentes Así como la producción de olores cuando los residuos sólidos se almacenan durante periodos de tiempo relativamente largos, según su naturaleza definida por las propiedades anteriores, entre los periodos de recogida, ya se encuentren situados en locales particulares, cubos de recogida, estaciones de transferencia o vertederos, viendose estos residuos afectados sobre manera en climas o estaciones cálidas y afectando a todos los factores anteriormente mencionados, en el caso de las propiedades biológicas.

Conocidas ya las principales características a tener en cuenta en el agregado de materia que conforman los RSU. Se pasa a explicar cual son específicamente las principales fuentes productoras de RSU que se dan en una sociedad "desarrollada" standart, como puede ser la nuestra, a nivel municipal.

Los biorresiduos municipales, conforman de un 30% a un 45% de los residuos domésticos generados. Existe diferentes tipos de productores de residuos en el ámbito municipal, que es necesario identificar en cada caso, para poder determinas su posterior gestión de la manera más adecuada. [9]

Los domicilios, son uno de los lugares donde se producen biorresiduos domésticos de composición heterogénea y variable a lo largo del año, denominados FORS (fracción orgánica de recogida separada). Estos residuos orgánicos biodegradables de origen vegetal o animal , generados en el ámbito domiciliario y comercial, se dividen en: por un lado, residuos orgánicos de origen alimentario y de cocina, los cuales están compuestos por restos de preparación o manipulación de la comida y los productos alimentarios, restos sobrantes de comidas, alimentos en mal estado y excedentes alimentarios no conercializados o consumidos.

Y por otro lado, residuos vegetales o fracción vegetal, formada por restos vegetales de pequelo tamaño y de tipo no leñoso procedentes de jardinería o poda, que se considera similar a la FORS y se gestiona según la configuración de los servicios de recogida y sus nivelos de generación. Los restos vegetales de poda y tipo leñoso, requieren de una gestión específica. [8]

Los factores que condicionan la generación de esta fracción orgánica de recogida separada (FORS) de residuos, a nivel domiciliaro son:

- El número de habitantes y edades presentes en la vivienda.
- Casos de localidades que sufren el fenómeno de población estacionaria durante las distintas estaciones del año.
- El tipo de dieta condicionada por parámetros socio-culturales.
- Número de comidas que se desarrollan en el hogas entre semana.
- Estación del año.
- Entorno: urbano, semiurbano o rural.

A parte de los residuos generados en las actividades vitales llevadas a cabo en los domicilios, exiten otros ambientes relaccionados con este mismo ámbito de generacion de biorresiduos.

Como los generados en las actividades económicas, productores de biorresiduos comerciales, pueden llegar a generar grandes cantidades en las cuales la FORS suele tener una composición homogénea y constante en el tiempo. Como es el caso de los comercios de alimentación, establecimientos de hostelería, jardinería, floristería, comedores de empresas, oficinas, despachos o zonas muy turísticas. En su caso los factors que condicionan la generación de la FORS, son:

- Establecimientos de hostelería: tipo de establecimineto, dimensiones, aforo, concurrencia.

- Comercios de alimentación y otros: tipo de comercio, nivel de ventas.
- Estación del año, climatología.
- Entorno.

Los servicios municipales, constituyen también una fuente de generación de FORS, en actividades como la poda pública, comedores de centros escolares, centros penitenciarios, dependencias municipales…

Y por último, los actos públicos, festivos o aconteciminetos particulares que se celebren, traen tras de sí la producción de biorresiduos generados por las actividades que se desarrolan en él y el número de asistentes presentes en los mismos. Los valores que puede alcanzar la generación de residuos en estos casos pueden ser elevados debido a las destacables diferencias que se dan en el consumo de alimentos, por ejemplo, respecto a la cotidianidad diaria de los individuos por separado, de los visitantes, durante estos actos. La producción de biorresiduos, principalmente, radica en aquellos actos festivos o acontecimientos multitudinarios, que se celebran durante días con amplias frajas horarias de actividad. Generando restos de excedentes alimentarios procedentes del consumo de productos tanto como de productos no consumidos, partes de alimentos no consumibles o productos en mal estado. [9]

Según estudios sobre la generación de residuos de carácter municipal en España, se determina que hasta un 44% del total, lo conforman biorresidos o materia orgánica. Véase: Figura 3.

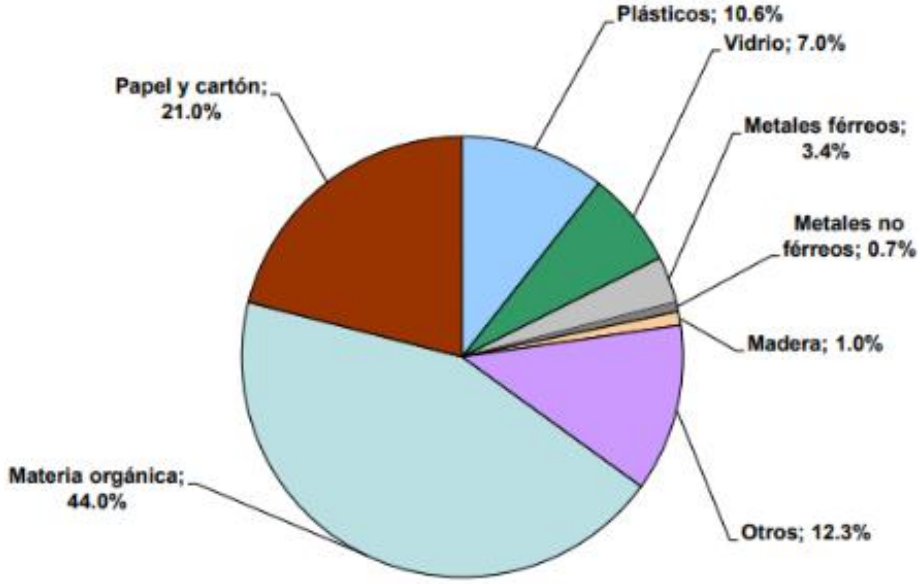

Figura 3. *Porcentajes de composición media de los residuos sólidos municipales en España, 2008-2015. [10]*

Si nos centramos en las características de la fracción orgánica (FO), o biorresiduos, que son los que van a ser valorizados energéticamente por el proceso de biometanización o digestión anaerobia, el cual será explicado minuciosamente en el punto siguiente del trabajo. Se observa en los materiales pertenecientes a la FO, que presentan unas características propias singulares, respecto a lo que pueden ser otros residuos, lo que las condicionan a la hora de tener en cuenta el diseño y desarrollo de su separación en origen, recogida y posteriores tratamientos.

La FO, no es una fracción uniforme, por su naturaleza y origen de los cuales dependen la tipología de su composición, que esta sujeta a hábitos alimenticios, cambios estacionales y toda una serie de factores que hemos mencionado cuando se hablaba de los factores que condicionan la generación de la fracción orgánica de recogida separada (FORS) de residuos, en los párrafos anteriores. También, esta fracción, es la más inestable de los residuos de competencia municipal, debido a su elevado contenido en agua (sobre el 80% en peso) y materia orgánica (hidratos de carbono, proteínas, grasas).

Por lo cual es especialmente susceptible a ser degradada por los microorganismos, generando lixiviados que dan lugar a malos olores producto de su mismo proceso de biodegradación, durante la gestión.

Su densidad y grado de humedad pueden variar por cambios producidos en la composición de los materiales que la forman, estando situados los residuos de esta fracción en un rango de densidades de entre 0,3 y 0,8 toneladas/m^3 y presentando en ocasiones un peso considerable y un bajo grado de compactibilidad.

Los principales materiales de la FO, son: restos de comida y de preparación, pequeños restos vegetales, materiales compostables o biodegradables y otros materiales relacionados con el mundo de la madera que es directamente utilizado en la industria alimentaria, palillos, pinchos, virutas, tapones de corcho, etc. [8]

Por lo general el común de la composición de la fracción orgánica (FO), estudiada a este nivel, en municipios tipo del estado español, como puede ser el nuestro y así lo avalan los datos de composición de biorresidos que presenta el Ministerio de Alimentación y Medio Ambiente, son los que se muestran en la siguiente tabla. Véase: tabla 1.

Tabla 1. *Características de la FO. Fuente: Francesc Giró, "Compostarc", 2007. [8]*

FRACCIÓN ORGÁNICA (FO)				
Humedad (%)	Materia Orgánica (%)	Nitrógeno Orgánico (%)	Relación C/N	Densidad (T/m^3)
75-80	75-85	5,5	17	0,6-0,8

2.2.- SEPARACIÓN EN ORIGEN Y RECOGIDA SELECTIVA DE RSU.

Para una efectiva recogida selectiva y gestión de los RSU, especialmente de los biorresiduos, el primer paso, es la separación en origen en el mismo punto de generación de los mismos. Para desarrollar esta técnica de recogida de forma correcta, es indispensable la colaboración de los usuarios y se deben tener en cuenta ciertos requisitos, a fin de asegurar que se disponga del espacio y los materiales adecuados, para depositar y almacenar los biorresiduos en los hogares, comercios y contenedores colindantes a ellos, dispuestos por la municipalidad para este fin. Así como transmitir los conocimientos adecuados a los usuarios, para que estén informados y sean conscientes de los materiales que pertenecen a cada fracción, para una correcta recogida separada o selectiva.

Los productores deben conocer, porque es necesario y como efectuar la separación, por medio de campañas efectivas de información y sensibilización, llevadas a cabo por las administraciones locales o municipales. Las cuales, suministraran, dentro de sus posibilidades, los medios para facilitar que la separación en el punto de generación se efectúe de manera efectiva y confortable para los usuarios, e instarles a la colaboración en estas acciones facilitando y haciendo más efectivas las mismas.

Estas directrices por parte de la administración van orientadas a la necesidad que hay en la gestión de los RSU y los biorresidos, para optimizar las actividades de los sucesivos sistemas de recogida y tratamiento en instalaciones industriales para la FORS.

Los materiales y espacios necesarios para hacer la separación en origen en viviendas y establecimientos requieren de receptáculos donde depositar los residuos orgánicos generados. Estos espacios, han de contar con un volumen apropiado según las cantidades diarias generadas y otra serie de características que se amolden a las condiciones donde van a ser colocados.

Condiciones además del volumen, como, el número de habitantes relacionados con ese lugar de vertido, tiempo de almacenamiento, frecuencia de recogida y diseño práctico para su uso, que permita apertura y cierre hermético para evitar malos olores.

Las bolsas utilizadas para almacenar y transportar el residuo generado es otro elemento importante a tener en cuenta. Ya que son la manera de poder manipular y transferir los residuos hasta el sistema de recogida. Por ello han de tener una capacidad adecuada acorde con el cubo, evitar fugas y ser resistentes.

En el sistema de recogida de la FORS, las bolsas de plástico son inadecuadas y generan problemas en las plantas de tratamiento a la hora de gestionar los biorresidos en ellas contenidos. Haciendo más complejos los procesos por la mera existencia de ese material plástico, no utilizable y que influye negativamente en los procesos posteriores de tratamiento y valorización de biorresidos, por la existencia en los mismos de materiales plásticos troceados no eliminados por los sistemas de extracción y la transferencia de contaminantes del plástico a los biorresidos. Por tanto, la utilización de bolsas compostables en la recogida separada de la fracción orgánica, reduce considerablemente los costes del tratamiento ya que no es necesaria su separación de los biorresiduos que contiene, haciendo más sencillos los procesos de la planta y ahorrando tiempo y comodidad al proceso. Es por esto por lo que las bolsas compostables se han ido abriendo lugar en los establecimientos comerciales, disminuyendo tímidamente sus precios de venta. [9]

Hasta aquí, toda esta serie de acciones y procedimientos van encaminados al siguiente de los procesos que nos ocupa tratar en este punto, la recogida selectiva de los RSU, para los posteriores pasos a dar en el tratamiento de la fracción orgánica o biorresidos de los mismos.

Los biorresidos, son la fracción más singular y la que más peso representa sobre el resto de los RSU, cuantitativamente hablando. En España, se viene implementando este sistema de recogida selectiva de los biorresidos, con éxito, un muchos de sus municipios desde hace años.

Como plan desde el que se persigue promover la recogida de esta fracción tan especial, para la reducción de los impactos que tendrían en el medio, en caso de la aplicación de un método de recogida menos eficaz. Impactos que también se harían visibles a nivel social y económico si se prescinde de las medidas que facilitan la separación en origen, recogida separada… por los procesos de separación conjunta de residuos en las plantas de tratamiento, que presentan estándares de mantenimiento mucho más costosos e ineficaces, si valoramos solo el plano económico, ya que a nivel social y medioambiental los beneficios también son cuantiosos para nosotros y el entorno que nos rodea.

Puestos en el tema, para la fase de diseño de estos sistemas llamados selectivos, de recogida de biorresiduos, hemos de tener en cuenta aspectos relacionados con cada contexto y ámbito de gestión, con el fin de adecuar de la mejor manera posible el uno al otro. Respetando los siguientes aspectos:

- Determinar los tipos de residuos susceptibles de ser aceptados por este sistema de recogida: definir el espectro de residuos aptos para ser gestionados como biorresidos dentro de la FORS.
  Limitar su tipología reduce los beneficios y las ventajas potenciales de los procesos de valorización energética posteriores y no evita la gestión de la fracción sobrante, la cual tendría otro tipo de clasificación.

- Conocer las características de los biorresidos es elemental para planificar adecuadamente su gestión: tener en cuenta la alta densidad y humedad de la FORS, es de gran importancia para diseñar los procesos posteriores de gestión, desde la capacidad de cubos y contenedores que deben almacenar temporalmente estos residuos, las características de los vehículos recolectores, dimensionamiento de las plantas de tratamiento, superficie, etc. También ha de tenerse en cuenta, que todos los residuos pertenecientes a la FORS no tienen características homogéneas.

- En la recogida selectiva de la FORS, debe tener un bajo nivel de materiales impropios de pertenecer a la misma, ya que el incremento de estos conllevará un rendimiento menor en el posterior proceso de biometanización de los biorresidos, en muestro caso. Este porcentaje ha de ser de entre un 1%-2% en peso, para optimizar los beneficios de los procesos venideros. Si en cualquier caso el porcentaje en peso de impropios es superior a una cantidad entre un 5% a 10%, no solo se deteriorará la calidad de la FORS, si no también surgirán dificultades adicionales para su tratamiento.

- Diferenciar los restos de comida de los residuos vegetales: se recomienda disociar los residuos vegetales de poda, de la FORS procedente de los restos alimentarios, ya que las pautas de generación de ambos son distintas. Diseñando recogidas específicas para la fracción vegetal, que en la mayoría de los casos será triturada y añadida juntamente con los restos alimentarios para el proceso de biometanización, sin ningún problema.

Una vez en conocimiento de los puntos anteriores, de gran importancia para este modelo de gestión. Para hacer efectiva la recogida de esta fracción, se dispone de diferentes sistemas, cumpliendo los requisitos mencionados para asegurar un funcionamiento eficiente.

Estos sistemas de recogida en muchos casos van asociados a determinadas configuraciones urbanísticas que se dan en los municipios, aunque no siempre es así, dándose a veces casos en los que incluso en un mismo municipio coexisten dos sistemas de recogida emplazados en zonas diferentes que presentan distintas características urbanísticas y socioeconómicas.

A continuación, se detallarán los dos principales sistemas de recogida selectiva de residuos, por ser los más extendidos de entre los existes y que se utilizan en algunos países de la UE e incluso hasta en algunos municipios de nuestro país.

Sistema de recogida puerta a puerta: consiste en la entrega de los residuos por domicilio, comercio, selectivos o mezclados, por parte del generador, en cada puerta, portal, patio interior u otras zonas del edificio, de acuerdo con un calendario y horarios preestablecidos para la recogida de las distintas fracciones. Estos residuos, pueden ser entregados en bolsas o cubos de diferentes dimensiones según la cantidad de residuos generada y la tipología de los mismos. La recogida de los residuos se efectúa realizando un control y seguimiento en la participación de los usuarios y la calidad de los residuos entregados en términos de separación fraccionada, de forma que es la mayoría de los casos se conoce quien hace un uso responsable y quien no. Esto se debe a que el sistema de recogida es muy cercano al ciudadano y amplifica en cierta forma la obligación de realizar una correcta separación en origen de todas las fracciones de residuos que genera cada domicilio. Facilitando también la implantación de un sistema de fiscalización más justo. La aplicación de este sistema en más común en zonas de baja densidad de población, que facilitan su imposición, dándose también en grandes ciudades, adaptando el propio sistema de recogida, para que sea capaz de trabajar con mayores volúmenes de material.

Sistema de aportación: es el sistema más extendido, se basa en la entrega de los residuos, selectivos o mezclados, por parte de los domicilios y comercios generadores, a los sistemas de recogida presentes en la vía pública, contenedores, situados en las áreas de aportación. El método más común es el de recogida en áreas de aportación conformadas por contenedores situados en la superficie o soterrados, a disposición en la vía pública y de diferentes tipos, volúmenes y características, en función de los residuos que se vallan a recoger.

Estos contenedores son a su vez recogidos periódicamente conforme a las frecuencias de vaciado que se establezcan para las características de generación de cada tipo de residuos y a su capacidad. Los contenedores se colocan con disposiciones estudiadas en la vía pública y las diferentes fracciones que ha de albergar cada uno

se distinguen por colores según el contenedor sea de FORS, fracción resto, vidrio, envases ligeros y papel-cartón. [8]

2.3.- TECNOLOGÍAS DE GESTIÓN Y TRATAMINETO DE RSU ENFOCADO A LOS BIORRESIDUOS.

Para llevar a cabo una buena gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) y con especial interés, de los biorresidos que se encuentran encajados dentro de ellos, ya que hoy en día se generan en gran cantidad, es necesario una correcta gestión y un destino apropiado. Para ello, existen distintas alternativas de gestión y la selección de una de ellas o la combinación de varias, dependen de multitud de factores reseñables desde el punto de vista técnico, económico, social e incluso ético.

Conociendo los tipos de biorresiduos y cantidades con las que se cuenta en un determinado municipio, sería fácil la directa revalorización de los mismos por medio del suelo, al que aportarían una gran cantidad de nutrientes y sustancias beneficiosas actuando como abono directamente sobre él, siempre desde un punto de vista en el que se proteja el entorno y se respeten los recursos y actividades que provienen de él. No obstante, la cantidad de biorresiduos generados en ciertas zonas, hacen imposible la aplicación de estos sencillos métodos de revalorización, debido a la gran cantidad de residuos generados, que sobrepasarían a las zonas disponibles en superficie que se disponen para acogerlos y transformarlos, haciendo peligrar la calidad de los suelos sobresaturándolos, los cuales a su vez afectarían al entorno medioambiental que los acoge.

Por tanto, lo ideal sería conocer los tipos y cantidades de biorresiduos para así poder aplicarlos directamente en las zonas donde sea posible y en las que no lo sea, llevando a cabo tratamientos o traslados a zonas con distintas necesidades.

Por otro lado, también existen una serie de problemas derivados del almacenamiento, transporte, aplicación y control de estos biorresidos. Por lo que, en

muchos casos, resulta más factible la opción de, previamente a su utilización, llevar a cabo un tratamiento biológico, ya sea digestión anaerobia o compostaje, para estabilizar la materia orgánica de los residuos, higienizarlos y aprovechar posteriormente al máximo su potencial. En estos tratamientos biológicos, aerobios o anaerobios, una población microbiana compleja, utiliza la materia orgánica de los residuos como alimento para llevar a cabo sus procesos metabólicos, generando nuevos productos.

En el compostaje, las distintas poblaciones de microorganismos trabajan conjuntamente en la descomposición de los residuos, acomodándose fácilmente a las variaciones que conforman la composición de materiales a tratar. Siendo este un proceso más sencillo de conseguir y en el que muchos de sus parámetros requieren un control mínimo para el buen fin del mismo.

En cambio, en la digestión anaerobia, estos microorganismos han de estar controlados en especie y demás condiciones relacionadas con el medio en el que habitan dentro de la matriz de residuos, ya que, trabajan secuencialmente, siendo fundamental que no se desequilibre el crecimiento de las distintas poblaciones de bacterias que participan en el proceso.

La aplicación de los tratamientos biológicos a los biorresiduos, conlleva grandes ventajas a muy bajo coste medioambiental, especialmente, las derivadas del uso y aplicación de los materiales obtenidos como subproductos finales de los procesos de tratamiento y su aplicación en el suelo como fertilizantes. Así como, favorecen a la desviación de esos cauces de materia orgánica a los vertederos, lo que dejaría sin aprovechar un gran potencial energético, en algunos casos, que obtenemos hoy en día gracias a estos procesos.

De la misma forma, los tratamientos biológicos también cuentan con aspectos a tener en cuenta dentro de los procesos que conllevan y de otros externos a ellos mismos, de los que también dependen. Algunos de estos puntos importantes son:

- Dificultad en la disposición de espacios, en lugares asociados a puntos cercanos de recogida de residuos, para su instalación.
- Necesidad de seguimiento exhaustivo para su correcto funcionamiento.
- Falta de promoción de esta clase de técnicas, por motivos de falta de interés o desconocimiento.
- Rápida implementación de nuevas tecnologías que significan una mejora o evolución para las instalaciones y su funcionamiento.
- Excesiva dependencia de intereses económicos y políticos para dar pie a su aplicación.
- Imperante necesidad de proporcionar salidas adecuadas a los materiales generados en los procesos producto de los tratamientos biológicos, para dar sentido a estas técnicas, desde un punto de vista tanto económico como ambiental.

Los objetivos fundamentales del tratamiento de la fracción municipal correspondiente a los biorresiduos van dirigidos al tratamiento y recuperación de los mismos y sus principales objetivos son:

- Evitar o reducir la problemática que existe, debido a los altos contenidos en humedad y materia orgánica fermentable de esta fracción.
- Facilitar la transformación de los biorresiduos, reduciendo su peso, volumen y preparándolos para su valorización a través del suelo.
- Estabilizar la materia orgánica introducida al principio del proceso transformándola en un producto de interés.

Aunque los objetivos finales de los dos procesos que forman la alternativa para la trata de estos biorresiduos, compostaje y digestión anaerobia, buscan generalmente un mismo fin.

Si hablamos de ellos desde un punto de vista más en relación con la energía, los costes y las necesidades de control de ambos procesos, se hacen evidentes sus grandes diferencias a la hora de poner en práctica uno u otro, contando con los conocimientos y medios técnicos y económicos necesarios para su desarrollo. Por tanto, la elección de uno de los dos sistemas es crucial y debe hacerse de una manera objetiva, basada en el conocimiento de sus funcionamientos y teniendo muy en cuenta las características de los residuos generados y la capacidad de tratamiento necesario para la gestión de estos.

En España, a lo largo de los años hubo épocas en las que el interés por estos procesos, en especial el compostaje, fue debido a que existía la necesidad de disponer de materia orgánica estabilizada y de los nutrientes que la acompañan, para mantener la fertilidad de los suelos, además de otros aspectos secundarios como la erosión y desertización, en algunos casos, de estos. Hoy en día, se afrontan la utilización de estos procesos desde un punto de vista que tiene como objetivo, la necesidad de deshacerse de los residuos. Lo que ha dado pie en los últimos años a la construcción de plantas de tratamiento biológico de residuos, cuya finalidad no radica en la obtención de compost, sino en el desarrollo del campo del tratamiento de residuos.

Estas actuaciones son llevadas a cabo también, teniendo en cuenta la necesidad de obtener un material, producto de los procesos de gestión de los residuos, que tenga posibilidades de ser revalorizado y aporte, a parte de un balance económico, un balance ambiental positivo en los procesos y rendimiento de las plantas. Ya que de la eficiencia depende la continuidad en el tiempo de este tipo de instalaciones. [8]

3.- DIGESTIÓN ANAEROBIA.

3.1.- PROCESO Y PARÁMETROS DE LA BIODIGESTIÓN ANAEROBIA.

La digestión anaerobia es un proceso biológico, que en ausencia de oxígeno y dado en varias etapas en las que intervienen distintas poblaciones de microorganismos, haciendo posible la transformación de la fracción orgánica de los RSU en biogás.

El biogás, es una mezcla de gases, entre los cuales principalmente se encuentran el CH_4 (50-70%) y el CO_2 (30-50%) en mayor proporción, seguido de otros en menor proporción como lo son el vapor de agua, aire (N_2 y O_2) que puede entrar en la alimentación, NH_3 y compuestos de azufre (H_2S) que se forman durante el proceso… Se dice del biogás que es una fuente de energía secundaria, debido a que es un gas combustible que presenta una elevada capacidad calorífica, sobre 5.700 Kcal/m^3, lo que le confiere unas muy buenas características como combustible para aprovechamiento en quemadores, turbinas, calderas, etc. Pudiendo generar a través de él calor y electricidad si se cuenta con las instalaciones adecuadas para ello.

Conforma así el biogás, junto con otras fuentes de energía renovable y de reaprovechamiento, unos recursos energéticos limpios a tener en cuenta para cubrir en el futuro una parte cada vez más importante de la demanda energética.

De este proceso de reaprovechamiento de la fracción orgánica de recogida separada, a parte de biogás, también se genera un digestato, al que se la da en algunos casos un tratamiento y es usado posteriormente para diversos usos, los cuales explicaremos más adelante.

Como se ha mencionado antes, en la digestión anaeróbica se desarrollan múltiples etapas en las que van interviniendo distintas especies microbianas anaeróbicas espaciales.

Estas especies precisan de unas muy exigentes características, asociadas a su medio de vida dentro del digestor para el buen funcionamiento del proceso, por lo que es necesario para su correcto desarrollo y el del proceso mismo, un control exhaustivo de las condiciones y variaciones que se dan en su medio de vida, tanto dentro del digestor como en las condiciones anteriores dadas en el caldo de cultivo de los microrganismos necesarios, antes de añadir estos a los residuos orgánicos a degradar en el ambiente anaeróbico del digestor, evitando con este hábitat ideal para los microorganismos el colapso del proceso.

La principal función que llevan acabo estos microorganismos una vez introducidos en el proceso de biodigestión es metabolizar el carbono presente en las fracciones orgánicas. Para llevar a cabo este proceso hemos de hablar de dos fases. Una primera hidrolítica fermentativa y una final metanogénica, en la cual se transforman los productos finales de la primera, en metano y dióxido de carbono mediante bacterias anaeróbicas metanogénicas.

La velocidad del proceso de generación de biogás a partir del sustrato orgánico está limitada por la etapa más lenta, ya sea la primera o la segunda, ya que las dos pueden ser limitantes en este aspecto según las características composicionales de cada sustrato. Si estos son solubles, la fase limitante será la fase final, la metanogénesis. Mientras que cuando la materia orgánica no se presenta como soluble, la fase primera es la limitante, hidrólisis. Otro factor condicionante del proceso es el tipo de sustrato a digerir, el cual según su naturaleza y características influye de manera importante en el rendimiento y la composición del biogás obtenido.

Para un máximo de producción de biogás se requiere la utilización de sustratos ricos en grasas, proteínas e hidratos de carbono, debido a que su degradación trae consigo la formación de grandes cantidades de ácidos grasos volátiles, precursores del metano.

Para esto, se lleva a cabo una selección previa de la FORS que da como resultado la mezcla de materiales de digerir para un buen rendimiento en la generación de metano, además de evitar, con esta preselección previa al proceso de digestión, la

existencia de materiales impropios que se hayan podido colar en el proceso y puedan generar problemas de rendimiento, obstrucción o daños al circuito. En algunos casos, se utilizan procesos que someten el sustrato orgánico a un pretratamiento, para así, aumentar la velocidad del proceso de generación de biogás.

Algunos otros de los factores concretos que regulan el proceso de digestión, además de los mencionados sobre estas líneas que regulan la composición de los materiales de entrada y su contenido en materia orgánica biodegradable, son: el pH y la alcalinidad de la mezcla emplazada en el digestor, los ácidos orgánicos volátiles generados según la naturaleza característica de los materiales añadidos, la temperatura, el tiempo de retención hidráulico, la concentración de nutrientes de la FORS tras la selección previa y las substancias tóxicas y materiales traza existentes en el proceso. [8]

El valor del pH, representado como el grado de acidez de la mezcla de materiales orgánicos contenidos en el digestor, para situarse en un valor óptimo ha de oscilar entre los valores 6,6-7,6, que permita al biorreactor que las funciones que se llevan a cabo en su interior sean las adecuadas para el fin del proceso.

Valores del pH por debajo de 5 y por encima de 8, hacen correr el riesgo de acabar con el proceso de fermentación anaeróbica ya que los distintos organismos que intervienen en cada fase son diferentes y ha de establecerse un equilibrio entre la producción de ácido y su regresión, para que estos organismos puedan coexistir dentro del digestor y se den las posibilidades ambientales correctas para su desarrollo. Los valores del pH pueden ser corregidos en los procesos de biodigestión conformados por el método de alimentación continua, para que siempre se encuentren dentro del rango más adecuado para la generación de biogás óptima y el buen funcionamiento del proceso.

Algunas de las medidas que se toman para el control del pH, cuando este es más alto de lo que debiera, se extrae una cantidad de efluente del proceso y se agrega otra cantidad de materia orgánica fresca equivalente. Y cuando es más bajo, es común

añadir fertilizante, cenizas o demás sustancias que favorezcan a la alcalinización del mismo hasta los límites de equilibrio.

La temperatura y tiempo de retención son valores clave e inversamente proporcionales entre sí, que actúan sobre a la velocidad de digestión del proceso de generación de biogás a través de la descomposición anaeróbica de residuos orgánicos. La temperatura determina el tiempo de digestión y degradación de la materia orgánica, la degradación aumente de forma proporcional al aumento de la temperatura de trabajo del digestor, incrementando la producción de biogás hasta un límite.

Para acelerar el proceso de digestión es frecuente que se le aplique calor, el cual, ayuda a una más rápida realización de las reacciones bioquímicas implicadas en el mismo. La mayoría de los biodigestores funcionan entre los 12ºC y 35ºC, siendo el punto de optimización del proceso respecto a la temperatura entre los 29ºC y 33ºC. Aunque la digestión anaerobia también puede darse entre la gama de los 37ºC y 65ºC, con un óptimo de temperatura sobre los 55 ºC, de tal manera que en este caso es necesario una menor permanencia en los tanques, pero por el contrario se requiere de un gran control del proceso trabajando a estas temperaturas.

A menores temperaturas la producción de biogás también es llevada a cabo por las bacterias, pero de manera más lenta hasta su límite inferior de 5 ºC, en el que esta generación de los gases producto de la biodescomposición de la materia orgánica se detiene.

Debido a estas variaciones de temperatura que condicionan el proceso, es necesario la estimación de un tiempo de retención dentro del depósito para el procesado o revalorización de la materia orgánica y la producción de biogás según la temperatura a la que se trabaje.

El tiempo de retención es la duración del proceso de digestión anaerobia de una carga de materia orgánica dentro del tanque.

El tiempo que requieren las bacterias para digerir el lodo orgánico y producir biogás. Así, a menores temperaturas se requiere mayor tiempo de retención, necesario para las bacterias, ya que tendrán menos actividad. Al ser este dependiente de la temperatura, está por tanto influenciado por factores geoclimáticos y de localización geográfica a parte de por los propios y característicos de las reacciones que tiene lugar en el interior del tanque entre los microorganismos que trabajan en el lodo orgánico, motor de la generación de biogás. [11]

Los ácidos orgánicos volátiles, producto intermedio del proceso de fermentación al degradarse la materia orgánica y sustrato utilizado por las bacterias metalogénicas. Presentan una gran importancia dentro de la digestión ya que pueden llegar a acidificar la mezcla de biorresiduos situada en el digestor si el crecimiento de las bacterias metalogénicas no es lo suficientemente rápido para asimilar los ácidos grasos volátiles que se van generando en el avance del proceso de biometanización, sobrepasando los límites inferiores en el pH y provocando un descenso del mismo, negativo para el buen funcionamiento del proceso y pudiendo interrumpir este. Un aumento, o gran concentración de estos ácidos volátiles, puede ser producido por una sobrecarga en la alimentación o alguna otra causa que provoque una inhibición de los procesos normales de trabajo que llevan a cabo las metanobacterias, encargadas de la generación de CH_4, obligando en algunos casos a tener que vaciar el digestor y reiniciar la digestión al alcanzarse en el proceso niveles de concentración de estos ácidos volátiles muy elevados. [11]-[8]

3.2.- PRODUCCIÓN DE BIOGAS.

La generación de biogás en sí da como resultado productos finales del proceso como los son el biogás y el efluente de biorresidos estabilizados que se dan como salida en el proceso de la digestión anaeróbica.

El biogás, es una mezcla gaseosa obtenida de la descomposición de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas, compuesto principalmente por metano, dióxido de carbono, nitrógeno, hidrógeno y oxígenos, en orden de cantidad de generación de mayor a menor cantidad de los elementos comprendidos en el gas. En condiciones normales, el proceso de digestión anaeróbica produce entre 400 y 700 litros de gas por cada kilogramo de materia volátil destruida, con un poder calorífico del biogás, debido al metano, de entre 4000 y 5500 Kcal/m^3, dependiendo la producción de la cantidad de sustrato orgánico consumido en el proceso por las bacterias.

El efluente de biorresidos estabilizados es el residuo orgánico excedente de la fermentación anaerobia de la materia orgánica para la generación de biogás. Este efluente presenta grandes propiedades fertilizantes, constituyendo un fertilizante orgánico rico en nitrógeno, fósforo y potasio, haciendo doblemente eficaz el aprovechamiento de los residuos en este proceso, al obtenerse de la revalorización de los biorresidos dos subproductos plenamente útiles en sus distintos ámbitos de aplicación. Este efluente de biorresidos estabilizados, también llamado bioabono, obtenido a la salida del proceso de generación del gas como “residuo” sólido de la materia orgánica biológicamente rentabilizada, en lo que a generación de gas se refiere, tiene una composición mayoritaria de materia orgánica, seguida de los elementos antes mencionados en menos cantidad, nitrógeno, fósforo y potasio. Además, el bioabono no posee mal olor, debido al proceso de estabilización biológica sufrido durante la fermentación anaeróbica. [11]

Actualmente, las tecnologías existentes han variado mucho desde la aplicación de los primeros procesos de digestión anaerobia allá por los años 80 del siglo XIV.

Variaciones de importancia en las técnicas de depuración, la legislación respecto a la gestión de residuos y, sobre todo, las crisis energéticas que han ido dando lugar a una mentalidad más moderna, haciendo presente el interés por el reciclado y la recuperación de residuos como subproductos o hacer posible una valorización energética de ciertos tipos de residuos, como es el caso de la recuperación de biogás

y su posterior transformación en energía térmica o eléctrica.[8] Otra preocupación importante en nuestros días, que afecta a muchos de los ámbitos del desarrollo económico de un país, es la de la reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero como el CO_2, más abundante y conocido, y el progresivo amoldamiento que han de tomar las diferentes industrias y procesos con vista al cumplimiento de las políticas de emisión de CO_2 que entrarán en vigor a principios de 2020 en toda la Unión Europea, las cuales presumen de reducir las emisiones de este gas hasta un 20% en alguno de los procesos industriales más contaminantes. Lo que sin duda supondrá un reto para muchos y apoyándose en parte en medidas como la gestión y valorización sostenible de residuos será siempre un beneficio y ayuda que corra a favor del progreso y la mejora de la gestión ambiental.

De estos intentos por mejorar el uso, valorización y reutilización de los recursos, se han desarrollado diseños de sistemas de biodigestión más adecuados y con mejores rendimientos a la hora de la producción de biogás por unidad de volumen de digestor y por unidad de materia orgánica tratada. También se pueden encontrar sistemas de biodigestión que trabajan con concentraciones de materia seca, con retención de los biorresiduos para todo el proceso de fermentación o alimentación y secreción contina de los residuos biológicamente desgastados y de una o dos fases emplazadas en tanques de biometanización separados según el nivel de desarrollo en que se encuentre el proceso.

Cada uno de los sistemas presenta unas condiciones de aplicación según las características condicionantes de la materia prima a tratar, los biorresiduos, así como diferentes costes económicos de implantación de las instalaciones según su naturaleza.

Tradicionalmente la digestión anaeróbica se venía aplicando a residuos líquidos, pero con el paso del tiempo los sistemas han ido mejorando para su aplicación a residuos sólidos. Se habla de digestión anaerobia por vía seca cuando el contenido en materia seca es superior al 15% y digestión anaerobia por vía húmeda cuando este es inferior al 15%.

La digestión de la FORS presenta una gran cantidad de sólidos en suspensión por lo que generalmente se acostumbra a añadir agua para reducir el contenido de sólidos totales y utilizar el sistema de reactores por vía húmeda de tanque con agitadores, en cuyas plantas de biometanización de los residuos de competencia municipal, se encuentran fundamentalmente las siguientes etapas:

- Selección según el origen de los residuos municipales, el tipo de recogida y la concordancia del proceso con las instalaciones.
- Acondicionamiento del material, según su dimensión, reducción de tamaño, ajuste contenido de sólidos totales y mezcla con efluente recirculado.
- Digestión anaerobia.
- Deshidratación, separación de las fases líquida/sólida.
- Tratamiento de la fracción líquida digerida y otras aguas residuales.
- Estabilización de la fracción sólida del digerido.
- Recogida y aprovechamiento del biogás producido, ya sea bien para la generación de calor, electricidad o llevar a cabo con él procesos de purificación para su futura inyección en la red de distribución de gas.

Las tecnologías en España para estos procesos de tratamiento de residuos de competencia municipal, tiene demostrado la conveniencia de su aplicación a la fracción orgánica de los residuos procedentes de recogida separada, ya que además de extraer un rendimiento de ellos en forma de biogás se evitan muchos problemas de acumulación de residuos. [8]

De la misma manera, cada vez más, hoy en día para evitar la acumulación de impropios de distinta naturaleza procedentes de la recogida selectiva y los procesos de separación en el digestor, que representan una amenaza para el buen desarrollo del proceso debido a atascos. Se están implantando los sistemas de digestión anaeróbica por vía seca con digestores que trabajan en modo “Batch” o garaje. La alimentación del digestor es por lotes, se carga una sola vez y cuando la producción de biogás empieza a descender trascurrido el periodo de fermentación y de máxima

producción de biogás debido al aumento de las cantidades de CO_2 y a la progresiva acidificación del sustrato por la pérdida del equilibrio entre los ácidos volátiles generados y las bacterias metanogénicas que los consumen al no existir carga fresca, se procede a su vaciado y relleno otra vez de materia orgánica fresca para sucesivos procesos de generación de gas, que mientras es generado se va almacenando en grandes depósitos esféricos con el fin de si posterior revalorización energética. [11]

3.3.- TIPOS DE DIGESTIÓN ANAEROBICA, VENTAJAS E INCONVENIENTES.

Como ya hemos hablado sobre estas líneas, la digestión anaeróbica es un proceso en el que se llevan a cabo una serie de sucesos biológicos en los cuales se descompone o biodegrada la materia orgánica introducida en ausencia de oxígeno. En él se general al biogás, que está compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono.

El proceso de fermentación anaeróbica para llegar a la producción de biogás es necesario que atraviese dos fases bien diferenciadas, química y biológicamente:

- Hidrolisis: transformación de la materia orgánica en dióxido de carbono, hidrógeno y ácidos grasos volátiles.
- Metanogénesis: fase en la que los ácidos grasos volátiles, se descomponen para convertirse en metano.

Para que se den las condiciones necesarias para el buen funcionamiento de un proceso de fermentación anaeróbica estable, deben materializarse los siguientes requerimientos:

- Una mezcla apropiada de las diferentes partes intervinientes en el proceso.
- En el caso de procesos de alimentación continua, el digestor ha de estar continuamente siendo alimentado de materia orgánica renovada. Mientras que a su vez, se debe eliminar con la misma continuidad la materia que ya ha sido procesada y que por tanto no está aportando

ningún beneficio al proceso de digestión más que el que ya aporto antes de su desgaste, si no, que lo está desequilibrando aumentando la brecha entre las bacterias metanogénicas encargadas de convertir los ácidos grasos volátiles generados por la hidrolisis de la materia orgánica en metano y la propia generación deficiente de estos ácidos al aumentar el porcentaje de materia procesada o desgastada en el proceso, en el interior del tanque.

- Unas apropiadas condiciones de temperatura, pH, balance de nitrógeno y relación C/N.

Sabiendo esto y teniendo en cuenta la gran cantidad de factores que se han de controlar para poder llevar a cabo satisfactoriamente el proceso de biodigestión anaeróbica.

Por lo que se puede caracterizar a un proceso de biodigestión anaeróbica en algunos de los términos más básicos y generales, se podría decir que existes dos tipos principales de digestión anaeróbica para el tratamiento de biorresiduos, digestión anaeróbica húmeda o seca. La digestión anaeróbica húmeda, usa en sus procesos materia orgánica con una consistencia de entre un 10% y 20% de materia seca, o menos. [12]

Mientras que la digestión anaeróbica seca presenta una consistencia en materia orgánica para su proceso de un 20% y40% de materia seca o más.

Este tipo de sistema de digestión anaeróbica en seco es usualmente llevado a cabo en digestores tipo garaje, es menos selectiva en lo referido a los costosos procesos de selección de los RSU antes del tratamiento anaeróbico, presenta menos problemas en los cuidados y mantenimiento de las instalaciones y genera un volumen de producción de biogás por tonelada de materia orgánica muy similar a los procesos llevados a cabo en la biodigestión húmeda.

Por lo tanto, la elección a la hora de utilizar el método de digestión húmeda o seca para el proceso de fermentación anaerobio de la materia orgánica depende mayoritariamente del contenido de materia seca de la fracción orgánica de los RSU que estemos tratando y sus condicionantes.

En relación con estos dos métodos de aplicación para el tratamiento anaeróbico de biorresiduos, a continuación, se van a mostrar algunas ventajas y desventaja de la digestión anaeróbica seca, en comparación con la digestión anaeróbica húmeda.

La digestión seca aplicada a gran escala puede llevarse a cabo en un sistema continuo o discontinuo. Generalmente se clasifica como un sistema de producción de biogás discontinuo porque la producción atiende a las secuencias de carga y descarga entre los procesos de generación del gas. Aunque operando varios digestores en paralelo permitirían una producción constante de biogás en el tiempo.

El proceso de digestión anaeróbica en seco es una solución alternativa a la digestión húmeda con el fin de optimizar el valor de los residuos, ya que, en una planta de digestión húmeda, muchas de las capacidades para tratar de valorizar la fracción orgánica seca de los RSU están limitadas por las propias características aplicadas al proceso de tratamiento de los residuos con alto porcentaje de humedad.

Algunas de las características y ventajas de la digestión anaeróbica seca son:

- Mayor porcentaje de consistencia en materia sólida por cantidad de sólidos totales de la digestión anaeróbica húmeda.
- Necesidad de menos calor y consumo de energía en el proceso de biodigestión.
- Sistema con mayor tolerancia a la aparición de contaminantes o materiales impropios al proceso de biodigestión.
- Posibilidad de containers o recipientes de almacenamiento donde se desarrolla el proceso, móviles.
- Posibilidad de gestión de varios digestores simultáneamente.

- Proceso más simple, requiere de menos equipamiento, mantenimiento e instalaciones (tuberías, agitadores, alimentadores).
- Producción del digestato sólida directamente aplicable, similar a los fertilizantes orgánicos.
- Uso de varios sustratos por cada número de digestores.

Y las desventajas de la digestión anaeróbica seca son:

- Requiere de instalaciones o maquinaria espacial para llevar a cabo las labores de carga y descarga del digestor.
- Necesarios sistemas de gestión de la variación de producción de biogás y la temperatura que se alcanza en el proceso que se desarrolla en los digestores tipo garaje.
- Biorresiduos no totalmente mezclados en los depósitos de digestión.
- El proceso microbiano ha de controlarse y comenzar para cada lote de biorresiduos en sistemas discontinuos de digestión anaeróbica seca, los más comunes.
- Mayores volúmenes requeridos en los espacios de digestión debido a las características que presentan los biorresiduos en se forma seca.

Teniendo en cuenta estos puntos en contra y a favor del proceso de digestión anaeróbica en seco, algunas características generales recomendables a la hora de aplicar este tipo de tratamientos a los biorresiduos adecuados son:

- Contar con el suficiente sustrato orgánico para hacer posible la rentabilidad del proceso en lo que a generación de biogás se refiere.
- Dispones de un amplio espacio vacante para la construcción de la planta debido al gran volumen de material con que se trataba y las amplias inmediaciones que requieren los digestores.

- Posibilitar el consumo de la energía generada a través del biogás en inmediaciones los más cercanas posibles a la planta de generación, para ahorrar costes de transporte del gas o instalaciones de generación eléctrica a partir de él.

Si bien hasta aquí se han analizado algunas de las más importantes características del proceso de digestión anaeróbica en seco, se pasa ahora a analizar por contrapartida los puntos ventajosos y las desventajas que ofrece la digestión anaeróbica húmeda.

Para procesar biomasa en un digestor húmedo, la principal ventaja es que permite debido a la alta cantidad de humedad del medio, la realización de una mezcla óptima de los distintos elementos que componen los residuos y por tanto debido a la mayor interacción entre sus partes un alto rendimiento en el proceso de generación de gas. En algunas partes del proceso los costes de operación son más reducidos que en el tipo de procesamiento llevado a cabo con la materia en seco, debió la a naturaleza fluida del propio tratamiento por vía húmeda y al ahorro en transporte mecánico de los residuos a introducir en el proceso, que en este caso llegan por tuberías hasta el tanque de digestión. Y la fermentación de la materia presenta menos riesgo de separación entre las partículas al estar trabajando en un medio húmero con agitadores, lo que conlleva un menor grado de disgregación y separación entre partículas.

Así pues, las ventajas de la digestión anaeróbica húmeda en comparación con la digestión seca son:

- Mayor flexibilidad funcional en el tratamiento de los materiales en los procesos de tratamiento.
- Menor inversión y costes operativos en plantas de moderado tamaño, en comparación con la digestión seca, la cual en la mayoría de los casos requiere de plantas en las que se ha de manejar grandes volúmenes de material para rentabilizar el proceso.
- Desulfuración biológica integrada en el proceso anaeróbico al que se someten los biorresiduos.

De la misma forma, la digestión anaeróbica húmeda requiere para el buen fin del proceso de las siguientes condiciones:

- Necesidad de agregar líquido a la mezcla de biorresiduos para aumentar su porcentaje de humedad y reducir la materia seca de la mezcla con el fin de facilitar el transito de los materiales a descomponer por las inmediaciones en las que se van a llevar a cabo los procesos de descomposición.
- Requerimiento de un sofisticado equipo de mezcladores y agitadores para evitar la precipitación fraccionada hacia el fondo del tanque del material a digerir en el proceso.
- Contar con recursos energéticos ajenos al proceso para el funcionamiento de las instalaciones como bombas y agitadores.
- Menor contenido de materia seca en los materiales biológicos a introducir en el proceso húmedo.
- Producción de un digestato húmedo al que le es necesario una serie de aplicaciones en instalaciones adicionales antes de poder ser utilizado como fertilizante en los casos de aplicación de este a la tierra.

Conocidos estos puntos, para la aplicación del sistema de digestión anaeróbica húmeda, han de conocerse las características con las que cuentan los residuos llegados a la planta, su naturaleza, procedencia, características de recogida, etc. Para amoldar el proceso y hacerlo siempre los más similar y adecuado a las características de importancia de los productos a tratar en el mismo.

En la digestión anaeróbica en seco, se recomienda también su utilización cuando la biomasa que se va a introducir al proceso contenga más de el 10% de arena o una gran cantidad de materiales no degradables impropios al proceso, como materiales sintéticos, desechos verdes (principales responsables de añadir estos contenidos en arena q pueden ser mayores del 20% de los mismos) o algunos desechos domésticos. [12]

Respecto a la comparación de costes de estos dos sistemas de digestión en base a las formas distintas que tienen asignadas para el tratamiento de los residuos, los cuales también se presentan a la entrada del proceso en configuraciones físicas distintas. Las instalaciones de digestión anaeróbica seca teniendo en cuenta las dimensiones de cada tipo de planta, sus características específicas y el volumen de tratamiento de material para el que están diseñadas, suelen conllevar una inversión superior a las instalaciones de digestión anaeróbica húmeda para plantas pequeñas, debido a la rentabilidad que se le puede sacar al procero según el tipo de digestión elegida, las características de los residuos que reciba la planta y los volúmenes de material que se procesen en ella. Estando destinados los mayores volúmenes de inversión en la construcción de la planta propiamente dicha a nivel estructural, para la consolidación de las instalaciones, muros de hormigos, pavimentos, estructuras, edificios, cubiertas…, representando a un nivel mucho más específico y con más variación en los costes, aquellos elementos o tecnologías de tratamiento a implantar, propias para el buen funcionamiento de la planta y el cumplimiento de las características y procesos asignados al tratamientos de los residuos según el tipo de instalación determinada.

En la siguiente tabla, se muestran intuitivamente las principales diferencias existentes en varios de los aspectos a llevar a cabo para el tratamiento de los residuos orgánicos ya sea por el proceso de digestión anaeróbica en húmero o seco. Véase: tabla 2.

Tabla 2. *Comparación de los procesos de digestión anaeróbica. "Collective Farming Grouping". 2018. [12]*

Criterios de comparación	Digestión húmeda	Digestión seca
Entrada de material	máximo 20% en materia seca	entre 20-40% en materia seca
Consumo de agua	Puede ser necesaria la dilución	Puede haber renovación del agua percolada
Estabilidad del proceso	Fácil intervención en caso de desequilibrio biológico	Necesidad de gestionar varios digestores a la vez
Calor necesario	Del 20-30% del calor producido	Menor necesidad para instalaciones térmicamente aisladas
Energía necesaria	Bombas y mezcladores	Baja
Combustible necesario	No	No
Digestato	Bombeado	Extraído con cargador de digestato
Mano de obra necesaria	Posible automatización del proceso	Necesaria para cargar y descargar
Producción de biogás	Producción continua	Producción discontinua
Seguridad	Puesta en marcha de la planta periodo de alto riesgo	Carga y descarga de los garajes periodos de alto riesgo

4.- SUPUESTO PRÁCTICO DE APLICACIÓN DE LA BIODIGESTIÓN ANAERÓBICA A LOS R.S.U EN CANTABRIA.

4.1.- DATOS DE PARTIDA.

Según datos aportados a este trabajo obtenidos de fuentes gubernamentales y empresas públicas dedicadas al sector de la gestión de carácter medioambiental y valorización de los RSU. [13] En nuestra comunidad autónoma, en el año 2015, para una población total de 585.179 habitantes, se recogieron sobre 290.000 toneladas de residuos domésticos, de las cuales 223.301 toneladas, algo más de un 75%, pertenecían a la denominada fracción resto o el más conocido "contenedor verde".

Haciendo unas sencillas operaciones para reflejar estos datos de una manera más visual e intuitiva en lo que a generación de residuos se refiere, si dividimos las toneladas de fracción resto anteriormente mencionadas generadas al año, entre el número de habitantes de la comunidad autónoma y a ese primer número, le dividimos entre los 365 días que tiene un año, obtenemos que cada uno de nosotros en su actividad vital diaria genera una media de 1,04 Kg/día de residuos pertenecientes a la fracción resto, fracción la cual más fielmente representaría para nuestra comunidad autónoma la parte perteneciente a los biorresiduos, entre otras cosas y hablando en términos muy generales, ya que aquí en la comunidad autónoma de Cantabria no se aplica a día de hoy una verdadera recogida selectiva de todos los tipos de residuos municipales generados en cualquiera de los ámbitos, yendo a parar al contenedor verde el resto de la fracción de RSU que no son ni vidrios, ni papel o cartón, ni envases plásticos o metálicos, básicamente.

Según el modelo de gestión asignado a la fracción resto en Cantabria de esas 223.301 toneladas generadas al año aproximadamente de esta fracción, si lo tomamos como valor representativo, contaríamos con una cantidad de fracciones residuales presumiblemente orgánicas para el proceso de biodigestión de unas 87.087 toneladas al año, un 39% de ese total anteriormente mencionado de 223.310

toneladas, las cuales, quedarían ya disponibles para recibir el tratamiento de biodigestión anaeróbica en garajes o de tipo “Batch”, por tanto, trabajando con los residuos en seco, siendo estos transportados mecánicamente hasta las líneas de garajes en los que dará comienzo el proceso tras una seria de más actuaciones que se concretaran más adelante.

Esta disminución del tonelaje de la fracción a tratar es debido a que del total de la fracción resto a partir de la recogida y el transporte a la planta de tratamiento de residuos, esta sufre determinados procesos de separación, recuperación y valorización en la misma planta y por tanto el número de toneladas finales a la salida de estos procesos, representa un cierto porcentaje del total, el 39% anteriormente mencionado. [13]

Tras su paso primeramente por un proceso de recuperación de materiales reciclables presentes en la fracción resto con unos índices medios de reciclado del 8% y un segundo proceso, disponible desde la puesta en marcha de la planta incineradora de residuos domésticos en al año 2006, que consiste en la recuperación energética por medio de la generación de electricidad a través del calor generado por la combustión de aproximadamente el 40% de los residuos pertenecientes a la fracción resto a base de la utilización el método de valorización CRD (combustible derivado del residuo). [14]

Por tanto, este 39% de residuos con los que se trabaja tras el reciclaje y la revalorización energética por medio de la combustión, de los residuos cuyo tratamiento ha sido posible antes de llegar hasta aquí, se conforma también por dos porcentajes a los que ya les son aplicable el proceso de biodigestión anaeróbica en seco. Véase: Figura 4.

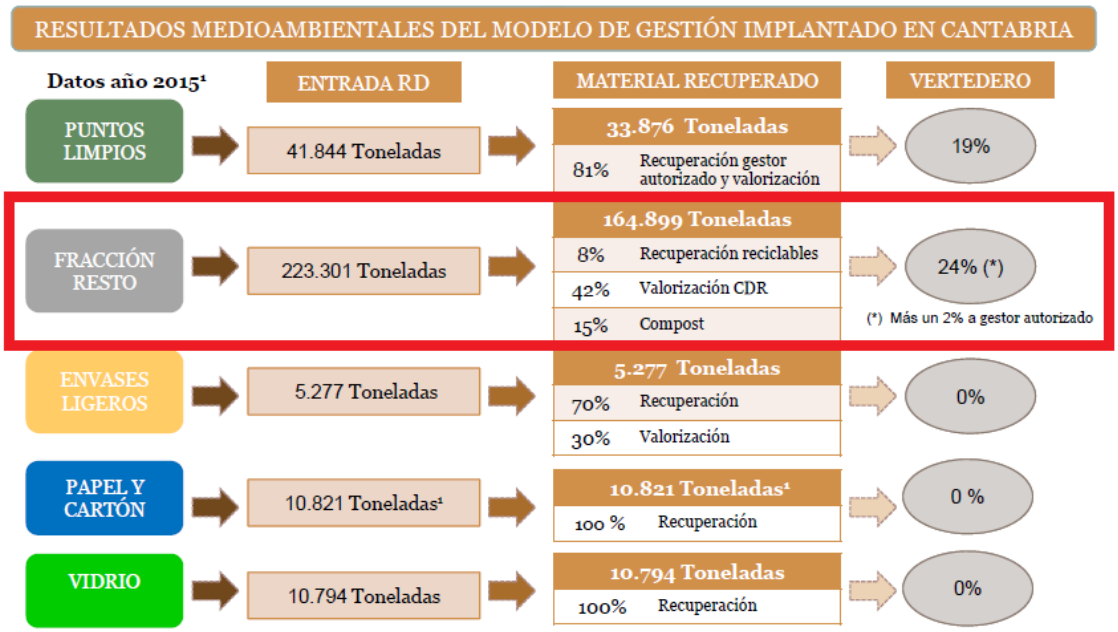

Figura 4. *Porcentajes de utilización, recuperación y valorización, de los distintos residuos, según el método de gestión implantado en la comunidad autónoma de Cantabria. MARE. Año 2015. [13]*

Estos dos porcentajes se conforman por la parte correspondiente al compost y la otra gran parte de residuos de la fracción resto, que, de lo contrario, a la no aplicación del proceso de biodigestión, como vemos en la figura sobre estas líneas, seria enviada al vertedero como método de tratamiento final o eliminación de este tipo de residuos de la fracción resto.

Tema a parte, conocidas en base a las explicaciones anteriores que se desarrollan en este punto del trabajo sobre estas líneas, hablando de las acciones llevadas a cabo y la intervención de maquinaria, personal y procesos que estas conllevan como parte correspondiente en el tratamiento y gestión de la fracción resto de los residuos en la comunidad autónoma de Cantabria.

Se pasa explicar en el siguiente punto del trabajo, las partes, instalaciones y funcionamiento de las mismas, en una planta de generación de biogás a través de la digestión anaeróbica en seco, de la fracción orgánica de residuos, la cual a través de

la aplicación en la comunidad de una efectiva recogida selectiva de todos los distintos tipos de residuos en origen, conllevaría a la directa utilización de estos en el proceso de forma inmediata debido a su naturaleza orgánica y de biorresiduos desde un inicio y para el bien del proceso tanto en calidad como en cantidad de residuos biodegradables de procedencia municipal con los que producir biogás.

4.2.- INSTALACIÓNES Y FUNCIONAMIENTO DEL TRATAMINETO ANAERÓBICO EN MEDIO SECO.

Durante la última década, se han construido numerosas plantas de generación de biogás a partir de residuos municipales. Países de la Unión Europea con Alemania a la cabeza y de otros lugares del mundo como China, empezaron a implantar estos sistemas a fin de dar un mejor tratamiento a los miles de toneladas de residuos generados en sus regiones a lo largo del año.

Para nuestro caso, en la comunidad autónoma de Cantabria, teniendo en cuenta los datos mencionados en el punto anterior de tipología y volumen de generación de residuos. En este trabajo, se va a tratar de simular en base a las explicaciones de los procesos y métodos de tratamiento de residuos, la implantación de un sistema de generación de biogás por el método de digestión anaeróbica seca, para tratar en lo posible la fracción de residuos que se genera en la región, con la intención de sacar un beneficio energético de los mismos, lo que se conoce como la revalorización energética de residuos que dejan de serlo.

A continuación, se tratarán de introducir los principios básicos de funcionamiento y partes que intervienen en el proceso, de una planta de generación de biogás a través de la biodegradación de la materia orgánica en medio anaerobio controlado artificialmente.

Se aplicara para el tratamiento de los biorresiduos, el método de biodigestión en seco, proceso en el cual la degradación de la materia introducida en él, se almacena

por lotes en una especie de garajes dispuestos en diferentes líneas de tratamiento, alimentadas cada una de estas líneas por su correspondiente tanque de almacenamiento de la mezcla de bacterias metanógenas o de percolación, cultivadas estas con anterioridad, para ser las encargadas de la conversión de los ácidos orgánicos volátiles generados en la degradación de la materia, en metano.

Para el comienzo del proceso los residuos a tratar se introducen en las garajes o cubículos por medios mecánicos y secuencialmente de forma que, a la hora de dar el pico de generación de biogás en algunos puntos de generación en las diferentes líneas de la planta, otros se encuentren en proceso de incremento o descenso de su capacidad de generación para favorecer a que se pueda hacer el proceso lo más continuo posibles. Evitando que se estanque la producción, de forma que mientras unos garajes empiezan a generar tras haberles sido vertido en su interior por medio de tuberías en los techos de los garajes el cultivo de bacterias metanógenas a la materia orgánica previamente allí situada, otros se encuentran en su máximo de producción y otros estén empezando a disminuir su nivel de generación de gas, mientras haya otros, que reinicien nuevamente el ciclo con la retirada del material digerido desgastado biológicamente a efectos de generación de biogás y se reintroduzca en su interior nuevo material para dar comienzo a un nuevo ciclo de producción metanogénico.

Como representa la figura 5, se ha de tenerse en cuenta para el buen funcionamiento del proceso, las distintas fases del mismo con las que hay que jugar, teniendo en cuenta los digestores activos y a disposición en la planta. De forma que, como se ha mencionado antes, se alternen de forma efectiva las distintas actividades llevadas a cabo en estos y los ciclos de funcionamiento conjunto de los mismos, ya se encuentren los garajes de biodigestión en las fases de libres de materia, en preparación, alimentación o generación y se desarrollen correctamente para contar con una producción de biogás homogénea y constante en el tiempo. Véase: Figura 5.

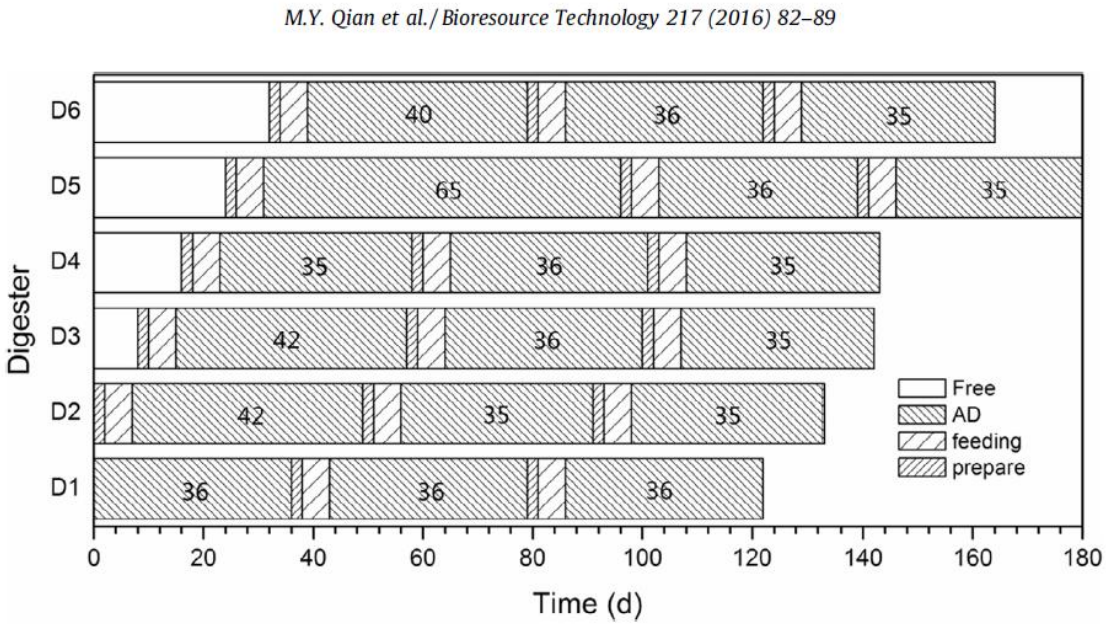

Figura 5. *Diagrama de gestión de la producción en función del tiempo, para que, a lo largo de todo un ciclo de generación, en el proceso, haya una producción constante en el tiempo de duración previsto para el mismo. [15]*

Para el volumen de residuos sólidos urbanos que se generan en Cantabria en un año y teniendo en cuenta el dato anterior de 87.087 toneladas al año de RSU "orgánico", la cantidad de la planta en toneladas por día de material a tratar seria aproximadamente de una media de 240 toneladas/día.

Por tanto, para un básico dimensionamiento de la planta amoldado a las necesidades dadas en la C. A. de Cantabria y teniendo en cuenta como ejemplo la referencia bibliográfica [15], para satisfacer las necesidades de las cantidades de material a tratar para este caso se habrá de contar para la supuesta planta Cántabra con tres líneas paralelas de tratamiento, con 9 digestores de tipo garaje en cada línea, atendiendo cada digestor a unas dimensiones de 25 metros de largo por 4 de ancho y 4 de alto y un volumen de 400 m^3 por cubículo.

Cada línea de digestores contará con su propio tanque de percolado, capaz de almacenar en su interior hasta 600 m^3 de mezcla bacteriológica líquida preparada para verterse a cada uno de los digestores garaje de forma diaria y constante, cuya

función, será la de comenzar con la serie de procesos que dan lugar a la generación de biogás por la actuación de las bacterias sobre la materia orgánica dispuesta en los digestores, al ser estos dos elementos puestos en contacto en el interior de los garajes cerrados.

Respecto a los procesos llevados a cabo en planta tras la llegada de los residuos de los hogares o almacenamientos municipales para su tratamiento, son preparados para su clasificación mecánica y manual conjunta enfocada a la eliminación de materiales no conformes al proceso que se puedan hallar en los mismos, evitando daños a los equipos que forman parte de las siguientes etapas del proceso. Tras esto los residuos orgánicos se almacenan en una especie de bunkers unos días, hasta su posterior traslado por mediante cargadores, los cuales transportan por diferentes medios mecánicos el material a la entrada del proceso de biodigestión para ser vertido en los digestores y dar comienzo al proceso en el que se vienen a tratar, al finalizar el cargado de los mismos en los garajes, los residuos pertenecientes a la F.O. de los R.S.U.

Los digestores están aislados del exterior para evitar la influencia de la atmosfera aeróbica, como es normal, y por medio de tubos de calefacción instalados en las paredes y suelos que conforman el cubículo, por debajo del aislamiento, se calientan con agua para hacerlos permanecer a una temperatura óptima cercana a los 37ºC para conseguir un buen rendimiento de producción, adecuado para el proceso de generación del gas.

Transcurrido el tiempo de retención reglamentario de 35 días dentro de los digestores para el desarrollo completo de las distintas fases bioquímicas llevadas a cabo para la generación de biogás, el digestato es vaciado por la acción de medios mecánicos intervinientes en el proceso y este, se pasa a definir composicionalmente a un nivel de estudio más específico que el que se contempla en este trabajo, con el fin de la búsqueda de posibles aplicaciones en otros campos. El percolado inicial de bacterias, sobrante del anterior proceso de descomposición anaeróbica, anteriormente añadido en el proceso para ayudar a la putrefacción de los residuos

orgánicos y preparado a conciencia alimentando a las bacterias con estiércol de vaca y controlando su crecimiento, es recirculado por el proceso tras su recolección en la parte delantera de los digestores tras pasar un proceso de filtrado para la eliminación de partículas sólidas que pudiera contener, para luego de esto, ser la parte sobrante en el proceso principal del percolado, bombeada nuevamente hasta los tanques de percolado que suministran a cada línea de digestores y dar fin con esto al circuito cerrado de recirculación del percolado por todo el proceso.

Este recorrido es realizado constantemente por los fluidos cargados de bacterias que componen el percolado, a lo largo de toda la línea temporal en la que se desarrolla la biogeneración de gas, ya que, este percolado, es aportado constantemente en el proceso de riego de los residuos orgánicos situados en el interior de los biodigestores a través de las boquillas de riego instaladas en el techo de los cubículos en los que tiene lugar el proceso, donde, por gravedad, fluye a través de la materia orgánica sobre la cual se emplazan las mencionadas boquillas que inoculan o suministran al medio orgánico, las bacterias encargadas de humedecer y aportar una serie de condiciones físico-químicas al proceso para sacarlo adelante, finalizando su tránsito y cerrando su proceso de circulación al recogerse y reutilizarse, la proporción correspondiente a las partes que no fueron utilizadas directamente en el proceso de generación de biogás, las cuales, se pierden al volatilizarse con los diferentes componentes, favoreciendo al fin de interés, la generación de biogás a partir de residuos orgánicos.

Para obtener la máxima productividad y un buen funcionamiento del común de instalaciones de la planta, los RSU que se recogen diariamente son transportados hasta las inmediaciones de la planta y analizado su contenido en sólidos totales, volátiles…, a partir de muestreos en diferentes puntos con anterioridad a su mezclado, pesado y clasificado, quedando de esta manera preparados para ser trasladados y dispuestos en cada digestor para dar comienzo al ciclo de generación de biogás.

El percolado también es muestreado quincenalmente directamente en el tanque de percolado, para medir en él, valores representativos de sólidos volátiles, totales, pH, conductividad eléctrica y carbón inorgánico total. [15]

En la figura 6, se puede observar una representación esquemática de como sería el esquema de funcionamiento básico, así como las partes de un biodigestor tipo garaje, y las demás instalaciones de la planta, similares a las que se aplicarían en los procesos de gestión y valorización de la fracción adecuada correspondiente a los RSU de la comunidad de Cantabria.

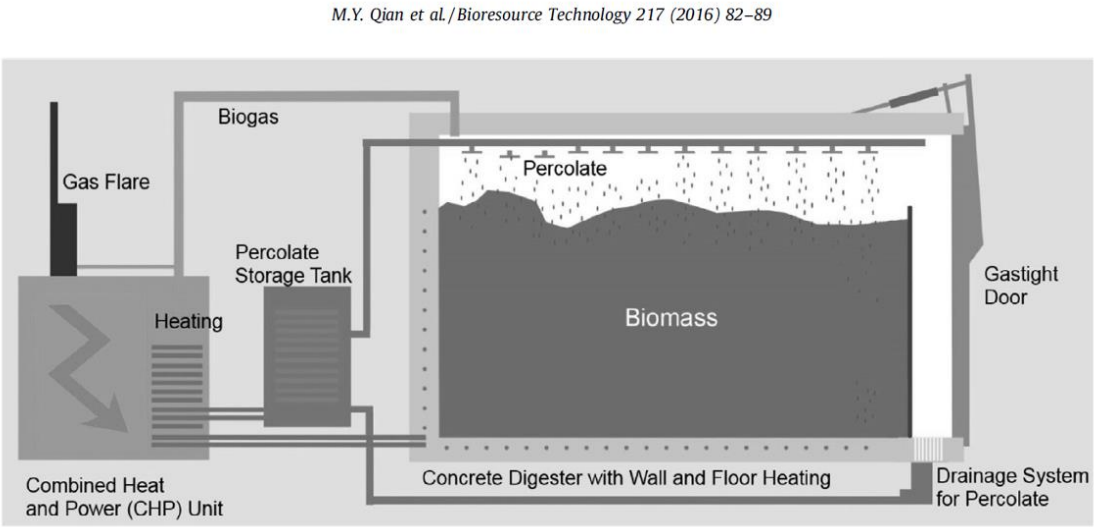

Figura 6. *Esquema individualizado de las partes y el proceso de funcionamiento, adecuados al caso de estudio, teniendo en cuenta las demás instalaciones de la planta que intervienen en el proceso, más que solo el mero digestor.*

Como ya se ha mencionado en puntos anteriores de este mismo trabajo, las condiciones climáticas de cada lugar, el modo de consumo característico de las distintas sociedades que viven inmersas en diferentes culturas y sufren unas u otras realidades económicas, sociales y demás cantidad de otros factores, influyen de manera decisiva en las características de los residuos generados ya sea por su naturaleza, composición, cantidades, etc.

Diferenciando básicamente los residuos asociados a zonas rurales, de las urbanas y siendo valoradas estas diferencias a escala doméstica, ámbito en el cual se centra el interés de nuestro estudio, para dar la mejor solución posible, materializando los conocimientos adquiridos en el estudio en el desarrollo de un buen sistema de gestión, tratamiento y valorización de residuos.

Algunos de los valores que se perciben de este tipo de estudios localizados en emplazamientos regionales concretos como es el caso del nuestro en la comunidad de Cantabria, pueden ser valores tan determinantes como el porcentaje correspondiente a la fracción orgánica de generación de residuos procedentes de los RSU (FORSU) que se registra típicamente en la zona, influenciado por toda la serie de factores y características valoradas y a valorar, que influyen, propiciando un abanico de cifras zonificado en distintas regiones, que para nuestro caso concreto en la C.A de Cantabria, este valor porcentual se corresponde a un 60% de FORSU (Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos) sobre el 100% total de RSU generados en Cantabria de media anual. [13]

Por último, para poner fin a este punto del trabajo, destacar, que cuanto menor sea el porcentaje de humedad de la fracción de interés (fracción orgánica, FO) hallada en los RSU, mejor resultará esta al proceso en lo que respecta a un incremento de la liberación del biogás por parte de la materia y a una mejor permeabilidad del percolado en el tránsito por los poros, hasta alcanzar la permeabilidad adecuada.

4.3.- OPERACIONES EN LOS DIGESTORES, PRODUCCIÓN, POTENCIA Y ESTABILIDAD DEL PROCESO.

En este sistema de fermentación por lotes existen diferentes tiempos operativos y de inactividad para los digestores en base a lograr una producción continua de gas, producto de la ejecución del proceso en varios digestores en etapas simultaneas que facilitan una producción progresiva de acuerdo con un cronograma preestablecido

que marca un inicio y un fin en los procesos llevados a cabo en el interior de los digestores.

El tiempo de retención teórico de cada digestor es de 35 días, como se mencionó anteriormente, favoreciendo el proceso a la existencia de un tiempo o intervalo entre el comienzo de las actividades llevadas a cabo en los digestores de 7 días, 2 días correspondientes a la preparación (vaciado y mantenimiento del digestor) y 5 días para el llenado de los digestores.

El indicador que determina la detención del proceso de digestión, teniendo en cuenta las distinciones de tamaño, principalmente, entre la planta de biogás tomada como ejemplo ([13]), y la que se estudia y dimensiona en este trabajo para implantar en Cantabria, en función de los residuos aprovechables para este proceso que se generan en la región, se basa en un valor de la producción diaria de biogás de menos de 55 m^3 biogás/día, o lo que equivale a aproximadamente un 10% de lo que son los picos máximos registrados de producción diaria, los cuales ascienden hasta la cifra de 550 m^3 biogás/día. Tomando estos dos valores de mínimos y máximos volumétricos de generación de gas en la vida del proceso llevado a cabo en el interior de cada digestor, podemos decir que se producen en su interior constantemente una media de estos valores de aproximadamente 303 m^3 biogás/día como valor medio de producción por cada digestor en proceso de la planta.

Apreciado este aspecto desde el punto de vista de la producción de metano, se cuenta para el proceso con un valor de teórico de generación de 80 m^3 de metano por cada tonelada de materia prima procesada en cada digestor, multiplicado este valor por las toneladas de material con las que haya sido cargado cada uno, obtenemos el valor aproximado de los metros cúbicos totales de CH_4 que debiera de generar un digestor a lo largo de todo un ciclo de vida, indicándonos el rendimiento de producción que esta dando el digestor y en base a este valor, determinar la situación en la que se encuentra dentro de su ciclo de vida para un control de generación a tiempo real y su situación dentro del conjunto del proceso.

Disponiendo la organización de la planta para tratar las 240 toneladas/día, que es necesario tratar para abarcar toda la gestión de la FO de biorresiduos generados en nuestra comunidad y a una producción de biogás media estimada teóricamente en 80 m^3 de CH_4/t, se contará en la planta con 19.200 m^3 CH_4/día o lo que es lo mismo transformado a su equivalente en unidades de potencia 192 MWh/día.

Para pasar esta potencia teórica a potencia eléctrica de generación real para este caso, se ha de contar con los motores CHP ("Combined Heating & Power") o motores de cogeneración que utilizan tanto el calor como la energía mecánica para la generación de electricidad y por tanto son los más adecuados para la transformación del gas por medio de la combustión en MW eléctricos o potencia eléctrica de generación. Estos motores de cogeneración, dispuestos al final de la línea productiva de la instalación de biogás y funcionando como aparatos de transformación de un potencial energético en el producto final que se desea obtener de la instalación (MW eléctricos a introducir en la línea), son los verdaderos encargados de materializar la potencia teórica generada por la planta de biogás.

Para el cálculo de los MWh eléctricos teóricos, que se generarían en la planta, además de los datos anteriores de generación de biogás y potencia equivalente generada del mimos, ahora, hemos de tener en cuenta la rendimiento de los motores de cogeneración encargados de materializar el valor de la potencia eléctrica de generación en esta parte del proceso, los cuales presentan un bajo rendimiento de aproximadamente un 35% lo que nos daría como resultado una potencia eléctrica de 2,8 MW eléctricos (MWe), resultado de multiplicar $\frac{192MWh}{dia} \times \frac{1dia}{24h} \times 0{,}35 = 2{,}8\ MWe$.

Tratando el tema del rendimiento del proceso en relación a la materia prima introducida en el mismo, con respecto al volumen de producción de biogás, anteriormente se da el dato teórico de 80 m^3 de volumen de generación de metano, por cada tonelada de materia prima procesada, como valor medio según el proceso y la naturaleza de los residuos orgánicos con los que se trabajaría en Cantabria, en base a estudios o pruebas a pequeña escala y conocimientos empíricos adquiridos en el Departamento de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Cantabria. Pero en muchos casos esta relación de generación volumétrica por tonelada, se queda en la teoría, a la hora de la verdad son tantos los factores a controlar que pueden intervenir y varía el nivel de producción en cada digestor mismo, que estos valores de m^3 de biogás por tonelada, no es extraño verlos reducidos en proporciones importantes, sobre todo al comienzo de los procesos de generación llevados a cabo en plantas piloto, y hasta que se normaliza con el tiempo la producción en la planta de tratamiento de estos residuos, llevando, a medida que se produce el desarrollo del proceso, un exhaustivo control del mismo y de las distintas etapas que se van desarrollando en él conforme se produce el aumento del volumen de producción de gas en cada digestor.

Para percatarse del rendimiento real con el que cuenta la planta al ir pasando los sucesivos procesos de generación se realizan estudios de composición, así como balances de materia del contenido de los materiales introducidos al comienzo del proceso y a la salida del mismo, cuando ya han sido extraídos o captados los materiales volátiles que han dado lugar en su mayoría al gas producto de las actividades llevadas a cavo en los procesos para su obtención.

La tabla 3, muestra un ejemplo del caso de análisis o balance de materia introducida y obtenida como salida del proceso de generación de biogás, para una planta de generación de características similares a las aquí especificadas y tomada como ejemplo para la explicación de esta idea en la bibliografía correspondiente al trabajo. [15]

Tabla 3. *Balance de materia entre el material introducido al inicio del proceso como alimentación (Feedstock) y los materiales sobrantes, materia orgánica de rechazo o digestato (Digestate), tras el desarrollo de los procesos que dieron lugar a la generación de biogás a partir de los materiales de alimentación del proceso. [15]*

Digester/Batch	Feedstock				Digestate			
	Quantity (t)	TS (%FM)	VS (%TS)	VS (t)	Quantity (t)	TS (%FM)	VS (%TS)	VS (t)
D1/B1	248	42.6	50.3	53	125	53.7	37.1	25
D1/B2	246	41.5	52.5	54	123	54.7	37.8	25
D1/B3	260	45.5	56.5	67	138	55.7	39.7	31
D2/B1	261	36.7	60.9	58	130	52.6	36.2	25
D2 /B2	260	37.7	52.2	51	128	50.7	38.0	25
D2/B3	260	44.8	58.6	68	133	56.7	42.5	32
D3/B1	246	43.4	37.5	40	130	50.3	33.0	22
D3/B2	258	47.7	58.1	72	133	52.7	40.3	28
D3/B3	259	47.7	58.3	72	136	49.2	41.0	27
D4/B1	236	36.9	41.1	36	140	50.7	29.4	21
D4/B2	245	45.7	56.9	64	133	54.2	45.8	33
D4/B3	245	45.7	56.9	64	134	53.6	42.3	30
D5/B1	227	38.2	43.1	37	138	48.7	30.1	20
D5/B2	259	45.4	57.9	68	142	55.7	40.6	32
D5/B3	260	48.8	58.5	74	144	57.7	46.2	38
D6/B1	229	38.7	58.9	52	129	50.8	45.0	29
D6/B2	250	48.5	54.6	66	128	55.7	42.4	30
D6/B3	236	48.2	57.3	65	133	55.7	40.0	30
In total	4485	/	/	1061	2381	/	/	505

"/" Means data not available.

Más minuciosamente explicado, en la tabla 3 situada sobre estas líneas, se muestras la cantidad de alimentación introducida al proceso de biodigestión separada en columnas según los análisis realizados para descifrar la cantidad de sólidos totales y volátiles introducidos al proceso con la alimentación en porcentaje y peso. Y de la misma manera se muestras las columnas pertenecientes al análisis del digestato o material sobrante sobre el cual ya se ha desarrollado el proceso.

Mismamente, en el caso de cada digestor, como se muestra en la tabla ejemplo, realizando la diferencia de masas totales introducidas como alimentación y a la salida del proceso, podemos ver la cantidad del material que no se encuentra físicamente emplazada a la salida y formando parte de los desechos del proceso, si no, que ha sido transformada básicamente en ácidos grasos volátiles y posteriormente en biogás siendo captado por el proceso para pasar a llevar a cabo los siguientes tratamientos que este gas requiere con posterioridad a su generación con el fin de generar una potencia eléctrica por medio de los motores de cogeneración, que sumada a la red,

genere a través de su coste de venta unos beneficios para la planta, capaces de rentabilizar el proceso a lo largo de su tiempo de vida y así de esta manera seguir llevando a cabo este tipo de revalorización energética de estos residuos urbanos municipales o RSU, de los cuales realizar una buena gestión de los mismos, será un punto clave para el acusado desarrollo sostenible que requieren nuestras sociedades con el paso del tiempo y la mejora de la técnica, que será crucial para el futuro desarrollo de las mismas.

5.- CONCLUSIÓN Y VALORACIÓN.

Como conclusión a este trabajo final de grado, mencionar, que a lo largo de todo su desarrollo se ha tenido como objetivo el traslado a la Comunidad Autónoma de Cantabria, la aplicación del método de biodigestión de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU), con el fin de revalorizar y sacar un beneficio medioambiental, así como un rédito económico a los residuos generados en común por los más de 500.000 habitantes que conforman la región.

Para esto, a lo largo de las páginas que detallan la información contenida en este documento, se desarrollan algunos de los temas más importantes y necesarios a tener en cuenta, para la aplicación de este caso a una población de un número de habitantes concreto y una localización geográficamente determinada, por no volver a mencionar todos los demás factores que interviene a la hora de llevar a cabo la aplicación de un método de estas características y naturaleza, a una sociedad moderna y desarrollada como la nuestra, en comparación con muchas otras regiones del mundo, en la que el consumo y la generación de residuos de todo tipo están a la orden del día.

Ante esta situación, es básico una buena gestión por parte de las autoridades competentes y encargadas en tratar el tema, así como una buena información a los individuos que componen el germen, origen y motor de generación de residuos para que con su concienciación se propicie a desarrollar un modelo de gestión lo más eficiente y sostenible posible con la ayuda de los métodos de gestión de residuos más actuales de la mejor manera posible aplicados.

La teórica aplicación que en este trabajo se contempla del método para tratar las fracciones orgánicas de residuos generados en la comunidad autónoma, no es más que un acercamiento con eminente carácter técnico e informativo, a la cantidad de beneficios que este sistema de valorización de los residuos, ya aplicado en muchas regiones de los países más vanguardistas del continente Europeo, traería a nuestra región, pero no antes sin una profunda restructuración y renovación de las infraestructuras actuales con las que se cuenta en la región para la gestión y tratamiento de los residuos que día a día, con o sin la aplicación de unos u otros métodos, se llevan a cabo en la actualidad en la región.

Estos beneficios aportados por la aplicación del sistema de tratamiento anaeróbico de las FO municipales, se materializarían principalmente en forma de una importante reducción de los costes de tratamiento y gestión de las basuras, así como, por otra parte, un menor impacto ambiental a la hora del vertido de los residuos desechables en el medio natural, véase, vertederos controlados e incontrolados, los cuales, se podría reducir drásticamente su número, reduciendo también su impacto sobre el medio, lo cual, extrapolado a todos los factores de distintas naturalezas intervinientes en las áreas de influencia de estos emplazamientos, reportaría una mejora importante, a un nivel global, dado el caso, y todo esto, gracias a la aplicación de estos métodos de revalorización energética de residuos que nos permites extraer un rendimiento energético y de otros tipos para casos ajenos al que aquí se está tratando, partiendo siempre para todo comienzo de este tipo de actividades, de supuestos residuos desechados por sus consumidores primarios, tras su primera fase de consumo, y que correctamente dispuestos fuera de los hogares siguiendo férreos

esquemas de recogida selectiva, no daría ,si no a más que, unos subproductos que correctamente clasificados en función de sus características orientados a posteriores tratamientos, todavía les quedaría un importante rédito, tanto energético, como en otros aspectos, a ofrecer a la sociedad, estando dentro de su vida útil y conformando las materias primas de estos procesos de revalorización energética.

6.- BIBLIOGRAFÍA DEL TRABAJO.

Trabajos citados

[1] Antonio Garea et al. 2014. *Biorresiduos: gestión y alternativas de utilización.* Murcia : Universidad de Murcia.

[2] David Vidorreta. 2014. Residuos profesional. [En línea] Octubre de 2014. [Consulta: 20 marzo 2018]. Disponible en: https://www.residuosprofesional.com/espana-en-el-furgon-de-cola-europeo-en-gestion-de-residuos/.

[3] Comisión Europea. Dirección General de Medio Ambiente. 2008. *LIBRO VERDE. Sobre la gestión de los biorresiduos en la Unión Europea.* Bruselas.

[4] Recytrans. 2014. Recytrans. [En línea] 02 de Septiembre de 2014. [Consulta: 28 marzo 2018]. Disponible en: https://www.recytrans.com/blog/reciclaje-de-residuos/.

[5] El tratamiento de los residuos. 2002. Gestión y tratamiento de los residuos urbanos. [En línea] 2002. [Consulta: 7 abril 2018]. Disponible en: http://www2.uned.es/biblioteca/rsu/pagina4.htm.

[6] Documento del grupo de trabajo de Conama 2016 GT-15. 2016. *El desafio de la gestión de la materia orgánica.* Madrid : Fundación CONAMA.

[7] Noe Crespo. 2016. Prezi. [En línea] 24 de agosto de 2016. [Consulta: 14 abril 2018]. Disponible en: https://prezi.com/gdirtmv8yde6/caracteristicas-y-composicion-de-los-rsu/.

[8] Ministerio de Medio Ambiente. 2007. Ministerio de Medio Ambiente. Gobierno de España. [En línea] 2007. [Consulta: 22 abril 2018]. Disponible en: http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/biorresiduos/.

[9] Ana Rodriguez. 2013. *Gestión de Biorresiduos de Competencia Municipal.* Madrid : Ministerio de Medio Ambiente. Gobierno de España.

[10] Rubén Díez. 2017. Moodle, Dept. of Water and Enviromental Engineering. University of Cantabria. [En línea] 2017. [Consulta: 11 mayo 2018]. Disponible en: www.moodle.unican.es.

[11] Alejandro Bautista Buhigas. 2010. *Sistema biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos (Estelí, Nicaragua).* Universidad Carlos III de Madrid. Madrid, Leganes.

[12] Marjolaine. 2018. BIOGAS WORLD. [En línea] 6 de 2 de 2018. [Consulta: 19 mayo 2018]. Disponible en: https://www.biogasworld.com/news/dry-wet-anaerobic-digestion-systems/?utm_content=buffer4588a&utm_medium=social&utm_source=twitter.com&utm_campaign=buffer.

[13] MARE-Gobierno de Cantabria. 2016. *"Valorizar Energéticamente los Residuos".* Santander.

[14] Punto Focal de Residuos de Cantabria. 2015. Punto Focal de Residuos de Cantabria. [En línea] Octubre de 2015. [Consulta: 15 junio 2018]. Disponible en: https://puntofocalderesiduos.cantabria.es/residuos-municipales/-/asset_publisher/Dk24ntMBlq3S/content/ind-5-tasa-de-valorizacion-energetica-de-residuos-domesticos?inheritRedirect=false.

[15] H.J. Zhou et al. 2016. ELSEVIER. *Bioresource Technology. "Industrial scale garage-type dry fermentation of municipal solid wate of biogas".* Beijing.