

# Adopción tecnológica en la producción de biogás: subcaracterísticas de la categoría ingeniería del MOSAT\*

## Technology Adoption in the Production of Biogas: Subcharacteristics Category Engineering MOSAT

Recibido: 28 de noviembre de 2015 - Aceptado: 4 de abril de 2016

Para citar este artículo: M. Durán «Adopción tecnológica en la producción de biogás: subcaracterísticas de la categoría ingeniería del MOSAT», Ingenium, vol. 17, n.º 34, pp. 113-135, mayo, 2016.



Martín Enrique Durán García\*\*

## Resumen

En la actualidad se desarrollan procesos industriales a diferentes escalas que permiten generar energías limpias promotoras de un mejor balance energético y sostenible con su entorno. La producción de biogás en probetas PET es un proceso que se ha desarrollado en diferentes dimensiones y propósitos en todo el mundo, el cual puede verse como un proceso de adopción tecnológica. A su vez se han generado modelos que permiten evaluar estos procesos de adopción como el proceso de producción de biogás, de manera que se garanticen soluciones óptimas y sostenibles. El presente trabajo busca evaluar el proceso de adopción tecnológica en la producción de biogás en probetas PET a través de la aplicación de cincuenta y una métricas (51) de las subcaracterísticas normativas asociadas a la dimensión Ingeniería del modelo sistémico de adopción de tecnología química (MOSAT), para caracterizar y analizar dicho proceso como un adecuado proceso de adopción tecnología química. Se utilizó el método analítico con la finalidad de ordenar, estructurar y aplicar todas las actividades que permitan el cumplimiento del objetivo deseado. Del

\* Adopción de tecnología química bajo un enfoque sistémico, Laboratorio de Investigación de Bienestar Estudiantil y Rendimiento Académico, Universidad Simón Bolívar, Venezuela (LIBRE-USB)

\*\* Ph. D. (c). en Ingeniería Química. M. Sc. en Ingeniería de Sistemas, ingeniero químico. Profesor Agregado y dedicación exclusiva de la Universidad Simón Bolívar, Investigador en Transferencia de Tecnología Química, Gasificación de la Biomasa y Enseñanza de la Termodinámica. E-mail: martinduran@usb.ve

análisis se desprende que el proceso de producción de biogás en probetas PET, se valida como un proceso de adopción tecnológica con un porcentaje de valoración de 86,27 % en cuanto a la dimensión ingeniería. Se recomienda en una investigación posterior estudiar las correlaciones entre las dimensiones del modelo al aplicarse a la producción biogás para encontrar nuevas interrelaciones que permitan la mejor comprensión del tema.

### **Palabras clave**

Producción de biogás en probetas PET, adopción de tecnología química, métricas, modelo sistémico.

### **Abstract**

At present industrial processes develop at different scales that allow developers to generate clean energy and sustainable energy better balance with their environment. Biogas production in PET specimens is a process that has been developed in different sizes and purposes worldwide, which can be seen as a process of technological adoption. In turn they have generated models to evaluate these processes of adoption as the biogas production process, so that optimal and sustainable solutions are guaranteed. This paper seeks to evaluate the process of technology adoption in biogas production in PET specimens through applying metrics fifty-one (51) of the regulations subcharacteristics engineering dimension associated with the systemic model Adoption of Chemical Technology (MOSAT), to characterize and analyze the process as a suitable chemical technology adoption process. The analytical method in order to arrange, structure and implement all activities to allow implementation of the intended target was used. The analysis shows that the process of biogas production in PET specimens, is validated as a process of technology adoption with a percentage of 86.27% assessment as to the engineering dimension. They recommended further research to study the correlations between the dimensions of the model when applied to the biogas production to find new relationships that allow better understanding of the topic.

### **Keywords**

Biogas production in PET cylinders, adoption of chemical technology, metrics, systemic model.

## **1. INTRODUCCIÓN**

En la actualidad la producción de biogás se realiza en diferentes escalas, contextos, aplicaciones y filosofías de producción, con el fin último de generar energía de forma limpia. Dentro del desarrollo e implantación de las tecnologías asociadas a la producción de biogás, se presenta la adopción tecnológica como una opción para desarrollar tecnologías que soporten estos procesos en contenedores de bajo costo como las probetas PET (Polietilen tereftalato)

Sin embargo, el proceso de producción de biogás en probetas PET representa una secuencia de actividades dentro de fases bien definidas, que se enmarcan dentro de interrelaciones complejas entre diferentes variables que intervienen. Es allí que surge la necesidad de estudiar la producción de biogás en probetas PET bajo un enfoque sistémico,

específicamente utilizando herramientas como modelos sistémicos que permitan validar si se realizó un adecuado proceso enmarcado dentro de la adopción tecnológica.

El presente trabajo tiene por objetivo evaluar el proceso de adopción tecnológica en la producción de biogás en probetas PET a través de las subcaracterísticas normativas del Modelo Sistémico de Adopción de Tecnología Química (MOSAT). Específicamente se requiere aplicar las subcaracterísticas normativas del MOSAT a dicho proceso para caracterizarlo como un adecuado proceso de adopción tecnológica, y finalmente analizar la producción de biogás en probetas PET como un proceso de adopción de tecnología a partir de las subcaracterísticas normativas del MOSAT.

### 1.1. PROCESO DE ADOPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA QUÍMICA

Es necesario presentar un resumen de toda la conceptualización del proceso de adopción de tecnología química bajo un enfoque sistémico. Para ello, es vital entender los principios básicos del enfoque sistémico y el desarrollo de las tecnologías, teniendo en cuenta que se deben establecer claros criterios que definan el proceso adopción tecnológica en cualquier organización.

En este trabajo se define la adopción de tecnología como la definición propuesta por Durán-García *et al.* [1] el cual se fundamenta en el proceso que involucra una primera fase de selección, adquisición e incorporación; y una segunda fase que corresponde a la adecuación, asimilación y difusión de la tecnología. Es importante señalar a la tecnología como conjunto de entes (activos intelectuales, habilidades, técnicas, conocimientos, consecuencias de la puesta en marcha de la mano del hombre) que pueden ser generados y transferidos, es un elemento fundamental en la organización, junto con los elementos procesos y entorno de la misma.

Por lo tanto se evidencia la estrecha relación que existe entre el proceso de adopción de tecnología, como parte de las estrategias tecnológicas que utiliza la organización, y la gestión de tecnología; en el sentido que es función de la gestión tecnológica decidir cómo va a insertarse la organización en un proceso que llegue hasta la adecuación de una nueva tecnología.

El proceso de adopción de tecnología, es afectado directamente por las interrelaciones existentes, entre las variables de carácter técnico, social, ambiental, económico, político, organizacionales, de gestión, ingenieriles, que definen las políticas tecnológicas de la organización. Es allí, que el carácter sistémico, dado por la complejidad de las interrelaciones entre dichas variables reviste de importancia en la formulación el Modelo Sistémico de Adopción de la Tecnología Química (MOSAT) propuesto por y validado por Durán-García *et al.* [1] y por [3-10].

Según Durán-García *et al.* [1], este modelo sistémico es claramente adaptable, sensible al contexto donde se esté aplicando, y además permite tener en cuenta las complejas interrelaciones que existen entre las variables que intervienen en las políticas de decisión tecnológica en una organización (en específico en el proceso de adopción de la tecnología por una industria en particular).

El modelo MOSAT está conformado por dos dimensiones que se encuentran en el primer nivel (nivel 0): Aspectos contextuales (actividades de apoyo y de contexto del proceso de adopción tecnológica) y Aspectos internos (actividades de inherencia directa en el proceso de adopción de tecnología química. En el siguiente nivel se encuentran (nivel 1) cinco categorías ingeniería, cliente-proveedor, soporte, gestión y organizacional que agrupan todas las interrelaciones entre las variables que intervienen en la adopción tecnológica. El tercer nivel corresponde a las características del MOSAT, las correspondientes a ingeniería las cuales son 6. En el último nivel del modelo se encuentran las veintiocho (28) subcaracterísticas que se desprenden de las características presentadas en el nivel previo, de manera tal que este nivel aguas abajo refleja las métricas pertinentes que se deben tomar en cuenta en la adopción de cualquier tecnología química, como puede observarse en la tabla 1.

Categoría	Características	Código	Subcaracterísticas
INGENIERÍA (ING.)	Información cinética y termodinámica (ICT)	ICT 01	Información de la reacción química
		ICT 02	Desempeño de la reacción química
		ICT 03	Procesos termodinámicos
		ICT 04	Condiciones de operación de la reacción química
	Procesos Industriales (PRI)	PRI 01	Diagrama de los procesos productivos y conexos
		PRI 02	Compuestos no deseados
		PRI 03	Sostenible energéticamente
		PRI 04	Productos y subproductos
		PRI 05	Condiciones de operación de equipos y accesorios
		PRI 06	Impacto en los procesos
	Equipos (EQU)	EQU 01	Equipos y accesorios
		EQU 02	Manuales de uso
		EQU 03	Características propias de los equipos y accesorios
		EQU 04	Plantas de tratamiento
		EQU 05	Efluentes
		EQU 06	Contaminación sónica
	Especificaciones (ESP)	ESP 01	Especificación de materia prima
		ESP 02	Especificación de insumos
		ESP 03	Especificación del producto
		ESP 04	Desechos sólidos y residuos contaminantes
	Servicio (SER)	SER 01	Energía
		SER 02	Disponibilidad de corrientes de alimentación
		SER 03	Almacenaje
		SER 04	Emisiones gaseosas
	Control (CON)	CON 01	Automatización
		CON 02	Dispositivos de medición
		CON 03	Arranque y parada
		CON 04	Sistemas automatizados

Tabla 1. Categoría Ingeniería: Características y subcaracterísticas del Modelo Sistémico de Adopción de la Tecnología Química.

Fuente: Durán-García et al. (2011)

En cuanto al procedimiento utilizado para establecer las categorías, características y subcaracterísticas y métricas fue el establecido por Durán-García *et al.* [1] donde se conceptualiza todo el proceso de construcción y validación del modelo MOSAT, a partir de bases de diseño en procesos químicos, bases conceptuales y de modelos previos de selección, adquisición, transferencia y adopción de tecnología. De esta manera, partiendo del modelo MOSAT ya construido y validado, se aplica al proceso de producción de biogás en probetas PET de manera que se evalúe como un proceso de adopción de tecnología química, y los resultados de esta evaluación también aporten insumos que permitan posiblemente refinar esta categorización y generar una nueva versión del modelo.

## 1.2. PRODUCCIÓN DE BIOGÁS. PRINCIPIOS E IMPLICACIONES

El proceso de producción de biogás en probetas PET se enmarca en el desarrollo y adopción de una tecnología principalmente de carácter químico. Algunas áreas del saber como la mecánica, la biología, las ciencias ambientales, los fenómenos de transporte, la conversión de energía, la ingeniería de los procesos químicos, la termodinámica, el diseño y síntesis de procesos, las ciencias de los materiales, análisis de las reacciones químicas, y las ciencias sociales como trabajo social, economía, sociología y psicología, entre otras, están completamente interrelacionadas con el proceso de producción de biogás como una tecnología social.

Según Durán-García *et al.* [11] el biogás es una mezcla multicomponente compuesta principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), hidrógeno molecular ( $\text{H}_2$ ) y trazas de azufre ( $\text{H}_2\text{S}$ ), el digestato correspondiente (mezcla orgánica que sobra después de la descomposición anaeróbica). Esta mezcla se forma a partir de la descomposición bacteriana en ausencia de oxígeno, proceso de biodigestión anaeróbica.

Como se ha explicado previamente estas interrelaciones son complejas, no son relaciones unidireccionales ni aisladas. Esto reviste el carácter sistémico al estudiar la producción de biogás como un proceso de adopción de tecnología química bajo un enfoque sistémico. La producción de biogás en probetas PET se ha realizado a diferentes escalas, con diversos propósitos y bajo el cumplimiento de variados enfoques. Se puede observar la creación de pequeños sistemas de producción de biogás como la construcción de grandes plantas de biogás, a su vez se han creado sistemas de producción de diferentes escalas pero con propósitos de abastecimiento mediano del gas o generación de energía eléctrica.

Por otro lado, existen sistemas que producen biogás con fines utilitarios de autoabastecimiento necesario del gas por ejemplo en zonas aisladas o de difícil acceso, o sistemas de producción de biogás que buscan el autoabastecimiento necesario de energía eléctrica en forma de energía limpia. En todos los casos, se hacen presente las fuertes y complejas interrelaciones de las diferentes áreas del saber con el fin común de producir esta fuente de energía.

En este trabajo se presenta la producción de biogás en probetas PET bajo un enfoque muy particular, el cual trata de la producción de biogás con fines domésticos con fuerte impacto en las zonas más aisladas de nuestro país. Hasta el momento parte de la

fundamentación de este enfoque de producción de biogás se sustentan los estudios propuestos por [11-13], los cuales describen el proceso, se presenta la valoración de resultados, equipos utilizados, objetivos a cumplir en la producción de biogás bajo este enfoque, impacto social, repercusiones ambientales y aprovechamiento de energético, entre otros; como proceso a evaluar por el MOSAT bajo un enfoque sistémico.

La producción de biogás se realiza bajo un sistema anaeróbico (en ausencia de oxígeno) compuesto por probetas PET que funcionan como contenedores del biogás producido, controlando variables termodinámicas como temperatura, presión y volumen específico, y otras variables como pH del sustrato, uso de catalizadores, concentración del sustrato, tiempo de reacción y conversión de la reacción anaeróbica.

La metodología completamente experimental se fundamentó en la preparación de tres grupos de probetas interconectadas a los sistemas de almacenamiento, calorimetría y cromatografía de gases, se sometieron a diferentes condiciones de control de las variables. El objetivo es valorar todo el proceso de manera que se obtenga el producto deseado (masa de biogás con mayor rendimiento energético y mayor cantidad de metano) bajo el monitoreo continuo de todas las variables que intervinieron en el experimento propuesto por Durán-García *et al.* [12].

El sistema de biodigestión anaeróbica está acoplado a un sistema de almacenamiento del gas que consta de válvulas de gases, tuberías con sus codos y conexiones correspondientes, tanque de almacenamiento de gas del cual se toman las muestras correspondientes para los análisis de rendimiento energético y concentración del metano en el biogás a través de los sistemas de calorimetría y cromatografía de gases respectivamente. Todos los sistemas en su mayoría fueron construidos con materiales, equipos, estructuras y partes que se les está dando un segundo uso funcional. Por ejemplo, la cáscara de un compresor de un sistema de refrigeración de una nevera se utilizó previa adecuación y acondicionamiento para el sistema de almacenamiento del biogás.

El sistema de calorimetría, se construyó bajo el principio del sistema de calorimetría de Junkers con materiales y estructuras cilíndricas de envases de cereal y productos lácteos en polvo para disponerse entre una capa de poliuretano como aislante. En general, muchas partes como mangueras, conexiones, tornillos, abrazaderas, entre otros, fueron adquiridas a bajos costos en los centros correspondientes de compras.

En el caso del sistema de cromatografía de gases, se solicitó el servicio a un cromatógrafo de gases. Todo el acoplamiento experimental se fundamentó en garantizar la repetitividad de los resultados, y la confiable aplicación del sistema diseñado en un conjunto de viviendas unifamiliares que se encuentren en viviendas de difícil acceso o zonas aisladas.

Desde el primer instante que se inicia la experimentación en laboratorio, como las primeras pruebas funcionales, la repetitividad de los resultados, la instalación del sistema de biodigestión anaeróbica en las viviendas unifamiliares, adecuación del sistema y asimilación del mismo en las zonas aisladas; se puede verificar la presencia de diferentes interrelaciones entre las áreas del saber que intervienen en la producción de biogás

como proceso de adopción tecnológica. Por lo tanto, en términos de fases se describe a continuación el proceso de producción de biogás en probetas PET:

### 1.2.1 Fase I: Selección y adquisición de materiales, partes y equipos

Identificar el estado del arte y construir un banco de pruebas de biodigestores de probetas poliméricas de polietileno tereftalato (PET). Durante esta fase comienza el proceso de desarrollo y adopción tecnológica pues se realiza una exhaustiva revisión bibliográfica de los diseños existentes de producción de biogás, resaltándose aquellos sistemas donde se utilizan biodigestores diseñados a partir de contenedores o probetas del tipo PET, en sus diferentes configuraciones, dimensiones y geometrías.

Esta fase vista desde la perspectiva de un proceso de adopción tecnológica puede abarcar las fases de búsqueda de la información, selección y adquisición de la tecnología a adoptar. Aquí se identifican aquellos elementos que son pertinentes y reutilizables en la tecnología o sistema que se desea adoptar: acceso a los materiales, costos, características idóneas de los materiales como la resistencia mecánica, térmica y baja toxicidad que no interfieran en las reacciones químicas, certificaciones dadas por entes oficiales de las características de los materiales, tipos de desechos orgánicos a trabajar, proporciones y configuración física de cada muestra de los desechos, geometrías y dimensiones más apropiadas entre otros.

### 1.2.2 Fase II. Incorporación y adecuación: Construcción, acoplamiento y escalamiento del proceso de producción de biogás en probetas PET

En el proceso de producción de biogás en probetas PET propuesto por Durán-García *et al.* [11], se requiere valorar la producción de biogás a partir de la muestra seleccionada de sustrato orgánico en términos de su masa, basado principalmente en el principio de conservación de la masa y control de las variables termodinámicas como presión y temperatura; y las variables pH y avance de reacción. Esta parte del proceso de producción de biogás corresponde a las fases de incorporación y adecuación de la tecnología del proceso de adopción tecnológica.

Específicamente la primera propuesta de montaje experimental consta de la adecuación y preparación de 15 probetas PET de 600ml de máxima capacidad que según las normas (COVENIN 2235 standard, 1988) están certificadas por su alta resistencia mecánica del material, baja permeabilidad sin toxicidad y presión mínima de 1206 kPa. Funcionalmente las probetas PET son contenedores de fluidos, su costo es bajo y de abundante disponibilidad en forma de desecho, lo que genera la posibilidad de ser reutilizada y darle un segundo uso con fines utilitarios en zonas aisladas.

El primer protocolo de diseño del banco de pruebas siguió los pasos que se pueden observar en la figura 1:

- Selección y peso de las probetas PET DE 600ml
- Preparación del sustrato (en igual proporción %p/p) y catalizador



- Preparación de cada grupo de 5 biodigestores con el sustrato y su respectivo catalizador (agua  $H_2O$ , ácido bórico  $H_3BO_3$  y bicarbonato de sodio  $NaHCO_3$ )
- Identificación de cada grupo de 5 biodigestores: Muestra A, B y C.
- Incorporación de instrumentos de medición de temperatura y pH
- Sellado de las 15 probetas e inicio del proceso de biodigestión
- Monitoreo de la temperatura y pH durante los 24 días de biodigestión
- Medición de la masa de biogás producido utilizando el balance de masa respectivo
- Reporte de presión, temperatura, pH y presión durante los 24 días de biodigestión
- Diseño de inyectoras que toman las muestras de biogás en las probetas
- Estimación de %p/p de metano principalmente y gases secundarios de la muestra (dióxido de carbono, hidrógeno, etc.) en el cromatógrafo de gases
- Valoración de la masa de metano producida
- Estimación del rendimiento energético del metano presente en el biogás con fines utilitarios en zonas aisladas a través del sistema de calorimetría.

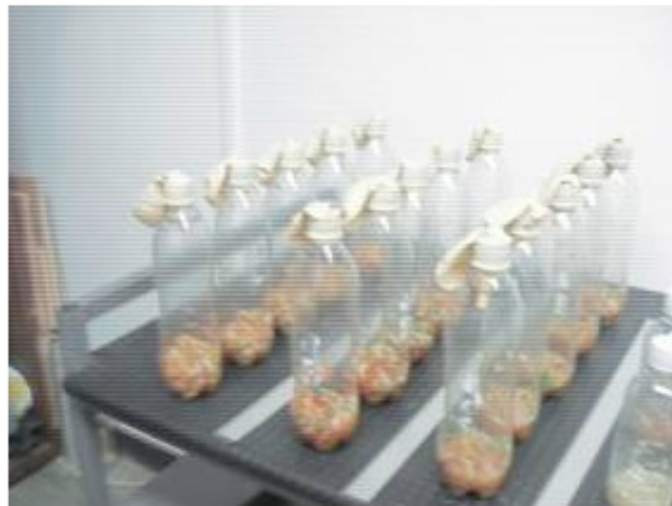


Figura 1. Probetas PET de 0,6 litros. Proceso de biodigestión anaeróbica, producción de biogás en probetas PET

Fuente: Durán-García et al. (2012)

En esta fase se comienza a realizar el diagrama del sistema a construir o ensamblar, y los planos a escala de todo el sistema incluyendo los sistemas conexos (sistemas de control, sensores de presión, temperatura y pH), una vez identificados y seleccionados los materiales, partes, equipos y accesorios a utilizar en base a las tecnologías ya existentes. En la figura 2, se presentan algunos bosquejos del montaje experimental del sistema escalado en su versión preliminar.



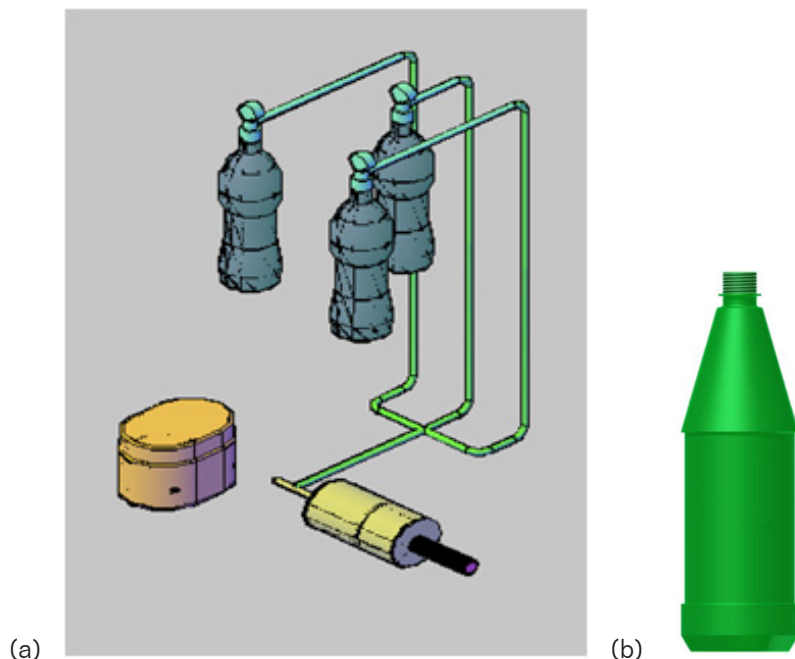


Figura 2. (a) Bosquejo del sistema de tuberías, sistema de trasegado y bombona de almacenamiento del proceso de producción de biogás en probetas PET, (b) Prototipo probetas PET Fuente: Durán-García et al. (2011)

En cuanto al proceso de valoración energética del proceso de producción de biogás en probetas PET se construyó un sistema de calorimetría como se muestra en la figura 3. Es importante destacar que los costos de construcción y ensamblaje de todas las partes del sistema de calorimetría es bajo no excediendo de los doscientos bolívares (200Bs), en virtud de que a algunos materiales se les da un segundo uso funcionalmente una vez que han sido desechados originalmente.

El escalamiento del sistema de biodigestión anaeróbica se establece principalmente al tomar en cuenta los recursos disponibles, el espacio físico a utilizar, el objetivo a cumplir energéticamente, la sostenibilidad energética y ambiental, y la factibilidad de controlar variables termodinámicas del sistema que está plenamente influenciado por su entorno.

Por lo tanto, resulta pertinente escalar el banco de pruebas de biodigestores de probetas PET de mayor volumen (1,5 L de máxima capacidad) incluyendo sistema de trasegado y almacenaje, variación de temperatura y grado de avance del proceso de biodigestión anaeróbica (avance de reacción).

En cuanto al servicio de cromatografía, se utilizó solamente en la fase inicial de experimentación, en el laboratorio, de manera que se pueda garantizar la repetitividad de los resultados, se establezca la proporción adecuada de metano contenido en el biogás a partir de la biodigestión anaeróbica de la muestra selectiva de desechos orgánicos utilizada.



Figura 3. Sistema de calorimetría: Calorímetro tipo Junkers

Fuente: Durán-García et al. (2013)

### **1.2.3 Fase III. Asimilación y difusión del proceso de producción de biogás en probetas PET**

De acuerdo a los resultados obtenidos por [11-13] el proceso de producción de biogás en probetas PET se desarrolla ampliamente en las fases I y II asociadas a un proceso de adopción tecnológica. En cuanto a las fases de la asimilación y difusión, se evidencian las mismas durante la puesta en marcha del proceso de producción de biogás en las viviendas unifamiliares en zonas aisladas o difícil acceso.

Esta fase del proceso reviste de mayor complejidad no solo por la instalación, acoplamiento y puesta en marcha de los equipos, materiales y partes que permiten establecer el proceso; sino por la adaptación de los usuarios al uso del biodigestor diseñado, la aplicación de criterios de energética y ambiental, el desarrollo de la cultura del reciclaje, la reutilización de materiales dándoles un segundo uso, la recolección, preparación y adecuación de los desechos sólidos orgánicos que alimentan al biodigestor anaeróbico en el tiempo, entre otros, con el fin último de generar el abastecimiento autosostenible de biogás en esas zonas aisladas.

Una vez que la tecnología ha sido seleccionada, adquirida, incorporada y adecuada a la escala correspondiente, se ha logrado la sinergia necesaria para minimizar los obstáculos por aparecer y optimizar la asimilación y difusión del proceso de adopción tecnológica generado en la producción de biogás.

El papel orientador de la psicología, el trabajo social, la sociología, entre otras disciplinas es importante en estas fases, en virtud de que intervienen activamente en la adaptación del nuevo grupo usuarios al uso de la tecnología de generación de biogás y sus procesos conexos explicados previamente. Incluso los nuevos usuarios participan activamente en la caracterización y adecuación de los residuos sólidos orgánicos que se derivan de las

actividades domésticas de las zonas aisladas, como materia prima en la producción de biogás en Probetas PET.

Durante todo el proceso, se generaron actividades conexas y de soporte que contribuyeron con el desarrollo de todas aquellas interrelaciones complejas en la producción de biogás como proceso de adopción de la tecnología química. Se documentaron procesos, se establecieron nuevos procesos dentro de la organización, la cual en este caso se encuentra dentro de la Sección de conversión de energía eléctrica del Laboratorio A de la Universidad Simón Bolívar.

Se adecuaron espacios que permitieron el montaje en todas sus dimensiones de la tecnología, se formalizaron espacios para procesos de producción de biogás en probetas PET dentro del Laboratorio de energías limpias asociado a la Sección de conversión de energía eléctrica, se establecieron nuevos responsables que administraran estos espacios y las instalaciones correspondientes de los sistemas de biodigestión anaeróbica en las viviendas unifamiliares ubicadas en zonas aisladas, se documentaron todos estos cambios y adaptaciones.

A su vez se generó la documentación que soporta las diferentes actividades como negociación de la tecnología, el funcionamiento de los equipos, los diagramas de los subprocesos, el establecimiento de los procesos, aseguramiento de la calidad, requerimientos, especificaciones, servicios, sistemas de control, entre otros, asociados a las dimensiones del proceso de adopción de la tecnología química.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. OBJETIVOS

El proceso de producción de biogás se enmarca principalmente dentro de interrelaciones complejas asociadas a diferentes ramas o áreas del saber, hecho que constituye al mismo en un proceso de desarrollo y/o adopción de una tecnología bajo un enfoque sistémico que permite estudiar la complejidad de dichas interrelaciones. Por lo tanto, este trabajo apunta hacia el aprovechamiento de una herramienta sistémica que previamente ha sido validada, permitiendo con el uso de la misma formular el objetivo general y los específicos del presente trabajo.

#### 2.1.1 Objetivo general.

Evaluar el proceso de adopción de tecnología en la producción de biogás en probetas PET a través de las subcaracterísticas normativas de la categoría ingeniería del Modelo Sistémico de Adopción de Tecnología Química (MOSAT).

#### 2.1.2 Objetivos específicos

Los objetivos que permiten el cumplimiento del objetivo general del trabajo se presentan a continuación:

1. Aplicar las subcaracterísticas normativas de la categoría ingeniería del MOSAT al proceso de producción de biogás en probetas PET para caracterizarlo como un proceso de adopción tecnológica.

2. Analizar la producción de biogás en probetas PET como un proceso de adopción de tecnología a partir de las subcaracterísticas normativas del MOSAT.

## **2.2. ALCANCE Y LIMITACIONES**

La meta de este trabajo es evaluar únicamente si el proceso de producción de biogás en probetas PET ya realizado se constituye en un adecuado proceso de adopción tecnológica al aplicarle las subcaracterísticas normativas de la categoría ingeniería del MOSAT a través de las métricas correspondientes. Las subcaracterísticas conforman claros criterios que permiten evaluar el proceso de producción de biogás, como un adecuado proceso de adopción tecnológica. De manera que el alcance y la limitación de este trabajo se transforman en el punto de partida para la aplicación de estos criterios a otros procesos de producción de biogás que se generen por la vía de la adopción tecnológica.

## **2.3. MÉTODO**

En este capítulo se presenta el método que se aplica para el desarrollo de todo el trabajo. El método refleja la manera como se organiza el proceso de investigación, como el control de sus resultados y la presentación de las posibles soluciones a un problema que genere la toma de decisiones.

El cumplimiento de los objetivos de este trabajo requiere de un conjunto de actividades a realizarse que deben cumplir con las características generales de la investigación. El método utilizado es analítico según Hurtado [2] y Bunge [14] donde se intenta comprender las situaciones en términos de las relaciones entre sus componentes, descubrir cada elemento e identificar las sinergias menos evidentes de los eventos analizados.

En la investigación analítica el resultado es la identificación de elementos no visibles o evidentes a los que no puede llegarse con una sencilla descripción Hurtado [2]. En esta investigación se llega al estadio de lograr objetivos complejos y se reinterpretan los eventos para llegar a conclusiones de diversa índole.

A partir de los eventos a analizar se dispone de las fases del método analítico, las cuales son cuatro: Definición de los eventos, construcción de la matriz de análisis, aplicación de la matriz de análisis y finalmente análisis y conclusiones, con el fin último de establecer criterios claros de análisis que permiten descubrir los elementos no visibles en el proceso investigativo planteado.

- a. Definición de los eventos. Esta fase corresponde a la definición de los aspectos fundamentales y principios básicos del Modelo Sistémico de Adopción de Tecnología Química (MOSAT); y del Proceso de Producción de Biogás en Probetas PET en todas sus dimensiones, caracterización básica del mismo y presentación de las subcarac-

terísticas que a través de las métricas validaran la producción de biogás como un proceso de adopción tecnológica.

- b. Construcción de la matriz de análisis. En esta etapa se definen las cincuenta y una (51) métricas asociadas a las subcaracterísticas que pertenecen a cada una de las características que se desprenden de la categoría ingeniería del MOSAT propuesto por Durán-García, *et al.* [11].
- c. Aplicación de la matriz de análisis. En esta parte se aplican las cincuenta y una (51) métricas asociadas a las subcaracterísticas que pertenecen a cada una de las características que se desprenden de la categoría ingeniería del MOSAT propuesto por Durán-García, *et al.* [11].
- d. Análisis y conclusiones. Aquí se explican las implicaciones arrojadas por las métricas estudiadas del MOSAT, de manera que permita descubrir si el proceso de producción de biogás en probetas PET se adecua plenamente o parcialmente a un apropiado proceso de adopción tecnológica. Además se encuentran resultados no visibles que describen el proceso en términos de la adopción tecnológica.

Estas fases se desarrollan longitudinalmente durante toda la investigación, específicamente la fase construcción de eventos corresponde a los referentes teóricos y sus implicaciones presentadas previamente. En cuanto a la construcción de la matriz de análisis corresponden a las métricas formuladas por categoría ingeniería del MOSAT, y la formulación de los objetivos, alcances y limitaciones del estudio. En cuanto a la aplicación de la matriz de análisis corresponde a los resultados que presentan las implicaciones encontradas al correlacionar la producción de biogás en probetas PET con el proceso de adopción tecnológica. La última fase está asociada al análisis de resultados que conducirán a las conclusiones.

### 3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

#### 3.1. EVALUACIÓN DEL PROCESO DE ADOPCIÓN TECNOLÓGICA EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Como se ha especificado previamente, la construcción de la matriz de análisis corresponde al diseño de cincuenta y una (51) métricas de la categoría ingeniería propuestas por Durán-García, *et al.*, [11] a través del Modelo Sistémico de Adopción de la Tecnología Química (MOSAT).

Las características de la categoría INGENIERÍA con sus criterios asociados se describen a continuación:

1. **Característica: Información cinética y termodinámica (ICT).** Se refiere a las especificaciones de cinética, termodinámica y de equilibrio de todas las especies involucradas en los procesos industriales.

**Subcaracterística: ICT 01. Información de la reacción química.** Se refiere a la información necesaria que permita el diseño de una adecuada reacción química en el ámbito industrial en función de las bases de diseño: condiciones de operación de la reacción química en contextos similares (temperatura, presión, fracción molar y

másica), cinética de la reacción y configuración del reactor, condiciones de operación de la reacción química (temperatura, presión, fracción molar y másica).

**Subcaracterística: ICT 02. Desempeño de la reacción química.** Se refiere al rendimiento de la reacción química en el ámbito industrial en función de las bases de diseño.

**Subcaracterística: ICT 03. Procesos termodinámicos.** Disponibilidad de procesos termodinámicos que se pueden realizar a través de las diferentes operaciones químicas en la planta: equilibrio líquido-vapor, equilibrio líquido-líquido, etc.

- 2. Característica: Procesos Industriales (PRI).** Se refiere a los aspectos importantes de los procesos industriales tales como: sostenibilidad energética, documentación de los procesos, productos y compuestos no deseados, etc.

**Subcaracterística: PRI 01. Diagramas de los procesos productivos y conexos.** Se refiere a la documentación de la planta química que representa los procesos industriales, balance de masa y energía, espacio físico a utilizar, etc.

**Subcaracterística: PRI 02. Compuestos no deseados.** Se refiere al manejo y disposición de los tipos de compuestos no deseados que se generan en la planta tales como: compuestos tóxicos, compuestos corrosivos, etc.

**Subcaracterística: PRI 03. Sostenible energéticamente.** Si los procesos industriales son sostenibles en el contexto real de la planta química, a partir de la disponibilidad de las diferentes fuentes de energía.

**Subcaracterística: PRI 04. Productos y subproductos.** Se refiere a los productos y subproductos generados en los diferentes procesos industriales.

**Subcaracterística: PRI 05. Condiciones de operación de equipos y accesorios.** Se refiere a las especificaciones de presión y temperatura de operación de los equipos y accesorios donde se realizan las operaciones unitarias.

**Subcaracterística: PRI 06. Impacto en los procesos.** Referido a los efectos que se producen en los procesos asociados (destilación, filtración, secado, evaporación, etc.): mejoras, cambios parciales en los mismos, reestructuraciones, eliminación de subprocesos, etc.

- 3. Característica: Equipos (EQU).** Se refiere a las especificaciones de diseño físico, documentación, características intrínsecas, descargas y tipos de equipos donde se realizan las operaciones unitarias: torres de destilación, intercambiadores de calor, tanques, torres de adsorción, bombas, evaporadores, turbinas, reactores químicos, compresores, etc.

**Subcaracterística: EQU 01. Equipos y accesorios.** Se refiere a las especificaciones de diseño físico de los equipos y accesorios de los equipos: tanques, válvulas, torres de destilación, tuberías, bombas, conexiones de equipos, evaporadores, turbinas, etc.

**Subcaracterística: EQU 02. Manuales de uso.** Se refiere a la documentación que describe las características de cada equipo y accesorios a través de una nomenclatura estándar.

**Subcaracterística: EQU 03. Características propias de los equipos y accesorios.**

Se refiere a las condiciones intrínsecas de cada equipo y accesorio, como los rangos de potencia de las bombas y compresores, orientación de los reactores, tuberías y torres de separación (vertical y horizontal), etc.

**Subcaracterística: EQU 04. Plantas de tratamiento.** Disponibilidad de plantas de tratamiento de agua y gases, como consecuencia de la instalación de la nueva planta o tecnología insertada en la misma

**Subcaracterística: EQU 05. Efluentes.** Se refiere al manejo y disposición de los efluentes que se generan en la planta.

**Subcaracterística: EQU 06. Contaminación sónica.** Manejo del nivel de ruido generado por la planta que afecta al personal que labora en la misma y al entorno circundante.

4. **Característica: Especificaciones (ESP).** Se refiere a las especificaciones de insumos, materia prima, desechos y productos de acuerdo a las bases de diseño.

**Subcaracterística: ESP 01. Especificación de materia prima.** Se refiere al cumplimiento de las especificaciones de la materia prima propuesta en las bases de diseño.

**Subcaracterística: ESP 02. Especificación de insumos.** Se refiere al cumplimiento de las especificaciones de los insumos, necesarios en la planta química, conforme a las bases de diseño.

**Subcaracterística: ESP 03. Especificación del producto.** Se refiere al cumplimiento de las especificaciones de los productos que se generan en la planta química, propuestos en las bases de diseño.

5. **Característica: Servicios (SER).** Se refiere al cumplimiento de las especificaciones de los servicios, necesarios en la planta química, propuestos en las bases de diseño.

**Subcaracterística: SER 01. Energía.** Es la disponibilidad real de fuentes de energía: electricidad de calentamiento (electric heat, el), gas natural (natural gas, ng), gas combustible (fuel gas, fg), combustible (fuel oil, fo), agua contra fuego (fire water, fw), etc., necesarias en las operaciones de la planta según las bases de diseño.

**Subcaracterística: SER 02. Disponibilidad de corrientes de alimentación.** Es la disponibilidad real de las secuencias de transferencia energética que circulan y abastecen a las unidades y equipos de la planta, tales como: vapor de baja presión (low pressure steam, lps), vapor de alta presión (high pressure steam, hps), agua refrigerante (refrigerated water, rw), etc., necesarias en las operaciones de la planta de acuerdo a las bases de diseño.

**Subcaracterística: SER 03. Almacenaje.** Es la disponibilidad real y el lugar de instalación de almacenaje del inventario de materia prima y productos que se generan en la planta química.



6. **Característica: Control (CON).** Disponibilidad de sistemas de control que garanticen el adecuado funcionamiento de los procesos y las unidades de operación, a partir de las especificaciones de las bases de diseño.

**Subcaracterística: CON 01. Automatización.** Indica el grado de automatización de las operaciones que realiza la tecnología química.

**Subcaracterística: CON 02. Dispositivos de medición.** Se refiere a la disponibilidad de dispositivos que permitan tomar las medidas de variables importantes dentro de los procesos industriales que se realizan en la planta.

**Subcaracterística: CON 03. Arranque y parada.** Se refiere a los sistemas de control asociados al arranque y parada de la planta. Impacto de la tecnología adquirida en los equipos y las tecnologías asociadas a medida que la planta alcanza el estado estacionario a partir del arranque, y cuando se somete a la parada. Comportamiento de la planta ante procesos inesperados debido a cambios imprevistos en las condiciones de operación.

Por lo tanto, se presenta la evaluación del proceso a partir de la fase de aplicación de la matriz de análisis, es decir, el análisis que se deriva de la aplicación de las métricas del modelo (características y subcaracterísticas de la dimensión ingeniería del modelo). En cuanto a la construcción de la matriz de análisis (métricas del modelo) se establecen las cincuenta y una (51) métricas formuladas para la categoría Ingeniería (ING) que representan el 42,15 % de las métricas del MOSAT. Una vez aplicadas las métricas al proceso de producción de biogás en probetas PET realizado previamente por el autor de este trabajo en conjunto con el Grupo de Investigación de Energías Limpias GIDEL (GIDUSB-071) y otros investigadores, se presenta la matriz para la categoría ingeniería.

El enfoque de calidad que reviste al MOSAT, permite hacer una evaluación de cada aspecto del proceso de producción de biogás en probetas PET a través de dos asignaciones posibles: «1» (Sí) indica que cumplió con ese aspecto del proceso de adopción tecnológica o «0» (No) indica que no cumplió con ese aspecto del proceso. Por lo tanto no existen asignaciones intermedias. En este sentido, si de una métrica formulada se desprenden dos o más preguntas, para que la métrica sea válida todas las respuestas deben ser positivas (todas con valor «1»).

Al contabilizar todas las asignaciones resultantes de las métricas por cada dimensión, permitirá evaluar el proceso por completo, dando como resultado las fortalezas, debilidades, la completitud, la adecuación entre otros aspectos del proceso de producción de biogás en probetas PET.

Subcaract.	Métrica	Pregunta	Puntaje obtenido
<b>Característica. Información Cinética y Termodinámica (ICT)</b>			
ICT 01	Condiciones de operación de la reacción química	¿Se documentaron las especificaciones de las condiciones de operación de la reacción química?	1
	Cinética de la reacción	¿Se documentaron las especificaciones de la cinética de reacción?	0
	Fracción molar y másica	¿Se justificó por escrito la necesidad de conocer la fracción molar y másica de las especies químicas?	1

Subcaract.	Métrica	Pregunta	Puntaje obtenido
ICT 01	Configuración del reactor	¿Se documentó la especificación de la configuración del reactor?	1
ICT 02	Rendimiento de la reacción química	¿Se documentó la evaluación del rendimiento de la reacción química?	1
	Pureza de los productos obtenidos	¿Se documentó la evaluación de la pureza de los productos obtenidos?	1
ICT 03	Disponibilidad de procesos químicos	¿Se documentaron los procesos químicos que se pueden ejecutar con la nueva tecnología?	1
	Eficiencia de los procesos químicos	¿Se documentó el análisis de la eficiencia de los procesos químicos?	1
<b>Característica. Procesos industriales (PRI)</b>			
PRI 01	Diagrama de procesos industriales	¿Se elaboraron los diagramas de procesos industriales?	1
	Diagrama de procesos conexos	¿Se elaboraron los diagramas de procesos conexos?	1
PRI 02	Información de los compuestos no deseados	¿Se documentaron las especificaciones de los compuestos no deseados que se generan?	1
	Aprovechamiento de los compuestos no deseados	¿Se documentó el aprovechamiento de los compuestos no deseados?	0
PRI 03	Demanda energética	¿Se documentó el análisis de las fuentes de energía disponibles que lograron satisfacer la demanda de energía requerida?	1
	Energía disponible	¿Se documentó la evaluación/estimación de la energía que demandaban los procesos industriales?	1
PRI 04	Características de los productos y subproductos	¿Se documentaron las características de los productos y subproductos esperados de acuerdo a las bases de diseño?	1
		¿Se documentaron las características de los productos y subproductos generados por la nueva planta o tecnología química?	1
PRI 05	Presión	¿La especificación sobre el rango de presión de operación de los equipos y accesorios fue especificada?	1
	Temperatura	¿La especificación sobre el rango de temperatura de operación de los equipos y accesorios fue especificada?	1
PRI 06	Mejoras en los procesos	¿Se documentó la evaluación de las mejoras de los procesos industriales?	1
	Cambios y reestructuraciones parciales en los procesos	¿Se documentó la evaluación de la pertinencia en los cambios y reestructuraciones parciales de los procesos?	1
	Cambios de subprocesos	¿Se documentó la evaluación de los posibles cambios de los subprocesos?	1
<b>Característica 9. Equipos (EQU)</b>			
EQU 01	Equipos	¿Se documentó la especificación necesaria de los equipos requeridos en los procesos?	1
	Accesorios	¿Se documentó la especificación necesaria de los equipos requeridos en los procesos?	1
EQU 02	Manuales de equipos	¿Los manuales de los equipos disponían de una nomenclatura de uso estandarizada?	1
	Manuales de accesorios	¿Los manuales de los accesorios disponían de una nomenclatura de uso estandarizada?	1
EQU 03	Características de los equipos y accesorios	¿Se documentaron las especificaciones de las características intrínsecas de diseño de los equipos y accesorios?	1
	Condiciones de operación de los equipos y Accesorios	¿Se documentaron las especificaciones de las condiciones intrínsecas de operación de los equipos y accesorios?	1
EQU 04	Disponibilidad de plantas de tratamiento	¿Se documentó el análisis de compatibilidad de la nueva tecnología con las plantas de tratamiento disponibles en la industria química?	0
	Instalación de nuevas plantas de tratamiento	¿La tecnología química adoptada, requirió la instalación de nuevas plantas de tratamiento?	0

Subcaract.	Métrica	Pregunta	Puntaje obtenido
EQU 05	Manejo y disposición de efluentes	¿Se documentó información referente al manejo y disposición de efluentes?	0
	Condiciones de operación de los equipos y accesorios	¿En la documentación referente a la disposición de efluentes, se evidenció el cumplimiento de las normas ISO 14000?	0
EQU 06	Manejo de la contaminación por ruido, olores y partículas.	¿Se documentó el manejo de la contaminación del aire por ruido, olores y emisiones de partículas?	1
	Normativa ambiental	¿En la documentación referente al manejo de la emisión de ruidos, olores y partículas, se tomaron en cuenta las normas ISO 14000?	1
<b>Característica. Especificaciones (ESP)</b>			
ESP 01	Materia prima	¿Se documentaron los requerimientos de la materia prima?	1
	Cambios en la materia prima	¿Se documentaron los cambios en la materia prima debido al uso de la nueva tecnología química?	1
ESP 02	Insumos	¿Se documentaron los requerimientos de los insumos?	1
	Cambios en los insumos	¿Se documentaron los cambios en los insumos debido al uso de la nueva tecnología química?	1
ESP 03	Productos	¿Se documentaron las especificaciones del producto final?	1
	Mejoras en los productos	¿Se documentaron las mejoras en los productos debido al uso de la nueva tecnología química?	1
<b>Característica. Servicios (SER)</b>			
SER 01	Fuentes de Energía	¿Se documentaron las fuentes de energía requeridas en los procesos industriales o de laboratorio?	1
	Correspondencia de energía	¿Se documentó la correspondencia entre las diferentes formas de energía requeridas y las disponibles?	1
SER 02	Secuencias de transferencia energética	¿Se documentó la información de las secuencias de transferencia energética requeridas en los procesos industriales?	1
	Correspondencia de corrientes de alimentación	¿Se documentó la correspondencia entre los requerimientos para las secuencias de transferencia energética y las disponibles?	1
SER 03	Requerimiento de almacenaje	¿Se documentaron los requerimientos de almacenaje de materia prima y producto?	1
	Espacios	¿Se dispuso de espacios propios para el almacenaje de la materia prima y el producto?	1
	Emisiones contaminantes	¿Se dispuso de espacios para el almacenaje de emisiones contaminantes que se generan con la nueva tecnología?	1
<b>Característica. Control (CON)</b>			
CON 01	Nivel de automatización	¿Se documentó la evaluación del nivel de automatización de las operaciones?	1
	Relevancia de la automatización	¿Se documentaron las mejoras en los procesos industriales a partir de la automatización de las operaciones?	0
CON 02	Dispositivos	¿Se documentó la evaluación del uso de los dispositivos de medición?	1
	Medida de variables	¿Se documentó la medición de las variables en los procesos industriales?	1
CON 03	Tiempos de arranque y parada	¿Se documentó el funcionamiento de los dispositivos de control en los tiempos de arranque y parada de la planta química o proceso a pequeña escala?	1
	Imprevistos	¿Se documentaron las decisiones a tomar frente a los imprevistos?	1

Tabla 2. Matriz para la Categoría Ingeniería  
Fuente: Adaptado de Durán-García *et al.* (2011)

Respecto a la tabla 2, se reportan las métricas que validan el proceso de producción de biogás en probetas PET bajo la dimensión de Ingeniería (ING). Esta dimensión valida el proceso a través de cincuenta y una (51) métricas, contenidas en seis (6) características y veinticuatro (24) subcaracterísticas asociadas.

De las cincuenta y una (51) métricas, cuarenta y cuatro (44) métricas que representa el 86,27 % de aceptación, validan el proceso de producción de biogás en probetas PET como un proceso de adopción tecnológica. Por lo tanto siete (7) métricas que son el 13,73 % de las métricas de esta dimensión no validan este proceso como un proceso de adopción de tecnología química.

Las métricas que específicamente no validan el proceso bajo esta dimensión son: cinética de la reacción, aprovechamiento de los compuestos no deseados, disponibilidad de plantas de tratamiento, instalación de nuevas plantas de tratamiento, manejo y disposición de efluentes, condiciones de operación de los equipos y accesorios, y relevancia de la automatización.

Esto se debe a que el proceso de producción de biogás en probetas PET no contempló el manejo de la cinética de reacción, ni el aprovechamiento de los compuestos no deseados; por lo tanto este proceso no se encuentra completamente especificado como una adecuada adopción de tecnología química en cuanto a estas características se refiere. De tal manera, es importante que el proceso pueda ser mejorado a partir del hecho que se acoplen procesos conexos que separen y aprovechen los compuestos no deseados, y se estudie la influencia de la cinética de reacción en el mismo.

En cuanto a la característica Equipos (EQU) se tienen cuatro (4) métricas que no validan el proceso asociado a esta característica de la dimensión Ingeniería: **disponibilidad de plantas de tratamiento, instalación de nuevas plantas de tratamiento, manejo y disposición de efluentes, condiciones de operación de los equipos y accesorios.** La ausencia de plantas de tratamiento, como la instalación de nuevas plantas, el manejo de documentación que considere estos aspectos no constituye una debilidad o carencia del proceso, pues la naturaleza del mismo requiere otros tratamientos ambientales más sencillos que son sostenibles en el tiempo.

Estos son los resultados de la aplicación de cada matriz asociada a las dimensiones del MOSAT, con el fin de validar el proceso de producción de biogás en probetas PET como un proceso de adopción de tecnología química. Estos resultados son insumos importantes para completar la evaluación del proceso, identificando aquellos aspectos no evidentes que se desprenden en esta investigación que permitirán expresar las conclusiones más relevantes.

### 3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se explican las implicaciones arrojadas por las métricas del MOSAT, de manera que permita descubrir si el proceso de producción de biogás en probetas PET se adecua plenamente o parcialmente a un adecuado proceso de adopción tecnológica en

el ámbito químico. Además se encuentran resultados no visibles que describen el proceso en términos de la adopción tecnológica.

En este análisis se presentarán implicaciones que se derivan de cada una de las métricas asociadas a la categoría ingeniería del modelo. No se pretende generalizar a partir de todas las métricas del modelo, en virtud de que cada una de ella busca medir y evaluar la pertinencia o no de subcaracterísticas y características que asociadas de manera que avalen la producción de biogás en probetas PET visto como un proceso de adopción de tecnología química.

Esta es la dimensión más grande del MOSAT que agrupa cincuenta y una (51) métricas, de las cuales cuarenta y cuatro (44) métricas que representa el 86,27 % de aceptación, validan el proceso de producción de biogás en probetas PET como un proceso de adopción tecnológica. Por lo tanto siete (7) métricas que son el 13,73 % de las métricas de esta dimensión no validan este proceso como un proceso de adopción de tecnología química (figura 4).

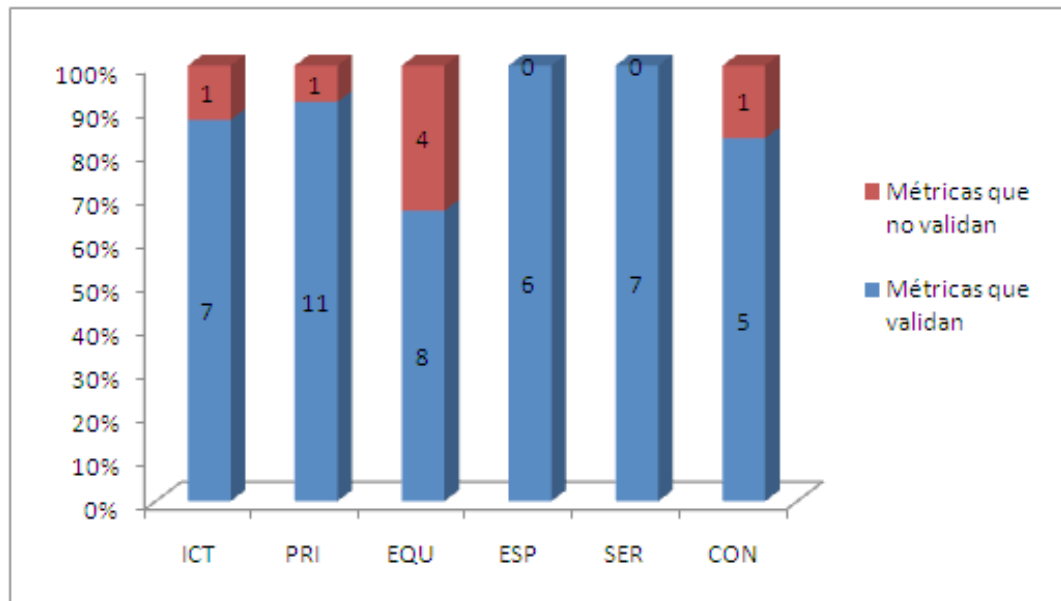


Figura 4. Métricas de la dimensión ingeniería (ING)

Fuente: Elaboración propia.

La métrica que específicamente no valida el proceso asociada a la característica Información cinética y termodinámica (ICT) es la **cinética de la reacción**. Mientras que la métrica que no valida el proceso y que está asociada a la característica procesos industriales (PRI) es aprovechamiento de los compuestos no deseados.

Esto se debe a que el proceso de producción de biogás en probetas PET no contempló el manejo de la cinética de reacción, ni el aprovechamiento de los compuestos no deseados; por lo tanto este proceso no se encuentra completamente especificado como una adecuada adopción de tecnología química en cuanto a estas características se refiere. De

tal manera, es importante que el proceso pueda ser mejorado a partir del hecho de que se acoplen procesos conexos que separen y aprovechen los compuestos no deseados, y se estudie la influencia de la cinética de reacción en el mismo

En cuanto a la característica Equipos (EQU) se tienen cuatro (4) métricas que no validan el proceso asociado a esta característica de la dimensión Ingeniería: *disponibilidad de plantas de tratamiento, instalación de nuevas plantas de tratamiento, manejo y disposición de efluentes, condiciones de operación de los equipos y accesorios*. La ausencia de plantas de tratamiento, como la instalación de nuevas plantas, el manejo de documentación que considere estos aspectos no constituye una debilidad o carencia del proceso, pues la naturaleza del mismo requiere otros tratamientos ambientales más sencillos que son sostenibles en el tiempo.

En cuanto a las características Especificaciones (ESP) y Servicios (SER) se observa que son completamente validadas por todas sus métricas asociadas generando entonces un 100 % de aceptación. Finalmente la característica Control (CON) presenta una métrica que no la valida la cual es la relevancia de la automatización. Por tratarse del desarrollo la adopción de una tecnología sencilla con un alto sentido funcional e impacto social, el hecho de documentar la automatización con elevado nivel de detalle, no tiene sentido si lo que se desea es tener un proceso automatizado de vanguardia. Por lo tanto esa métrica no tiene relevancia para el objetivo primordial que tiene la tecnología que se está adoptando.

La dimensión ingeniería resulta evaluada positivamente en función del porcentaje de validez, un 86,27%. En este caso, por tratarse de la dimensión más grande al abarcar cincuenta y un (51) de las ciento veinte y un (121) métricas del MOSAT, respondió a las exigencias de esta herramienta (subcaracterísticas normativas del MOSAT) al evaluar la producción de biogás en probetas PET como un adecuado proceso de adopción de tecnología química. El porcentaje de no validez corresponde principalmente a las métricas que no pueden evaluar algunos aspectos de la producción de biogás en probetas PET tales como: no se utilizó una cinética de reacción, no consideró el manejo de compuestos no deseados a pesar de que existen en la producción de biogás, no se dispuso ni se instalaron plantas de tratamiento como estrategia de mitigación, no se definió el manejo y disposición de efluentes pues no existen en este proceso, y no se especificó con detalle las condiciones de operación de los equipos y accesorios.

## 4. CONCLUSIONES

En función del objetivo de este trabajo que se fundamenta en evaluar el proceso de adopción de tecnología en la producción de biogás en probetas PET a través de las subcaracterísticas normativas del Modelo Sistemático de Adopción de Tecnología Química (MOSAT) se llega a las siguientes conclusiones:

Se aplicaron las subcaracterísticas normativas del MOSAT a través de las cincuenta y una (51) métricas al proceso de producción de biogás en probetas PET. De esta manera se logró caracterizar el mismo como un proceso de adopción de tecnología química.

Se estableció el análisis de la producción de biogás en probetas PET como un proceso de adopción de tecnología a partir de las subcaracterísticas normativas de la categoría Ingeniería (ING) del MOSAT, obteniéndose una validación del 86,27 % de aceptación como un adecuado proceso de adopción de la tecnología química.

Los bajos porcentajes de no validación asociados a las métricas, corresponden principalmente a la no aplicación de algunos criterios a este proceso de producción de biogás en probetas PET, debido a la naturaleza y el enfoque del mismo.

Se determinaron algunos aspectos del MOSAT que deben tomarse en cuenta en la producción de biogás en probetas PET para que se pueda validar aún más como un proceso de adopción de tecnología química, entre los cuales resaltan: la difusión del proceso de documentación de todos los manuales de normas y procedimientos, cumplimiento con todas las normativas ambientales internacionales, manejo de compuestos no deseados, cinética de la reacción y creación de algunos subprocesos que manejen de los residuos y efluentes.

Para investigaciones futuras, se sugiere generar correlaciones entre las dimensiones del MOSAT una vez evaluado el proceso a través de sus métricas, con el fin de evaluar qué implicaciones y elementos adicionales que enriquezcan la investigación.

Por ejemplo, la no validación de una o un conjunto de métricas, aportan información valiosa para considerarlas en la posterior refinación del modelo MOSAT en futuros trabajos. Particularmente, se pudiese incluir la o las métricas asociadas a la «eficiencia productiva» en la característica de procesos industriales; o posiblemente se puedan fusionar las métricas asociadas al «desempeño de la reacción» (la cual puede quedarse corta al incluir solo las especificaciones), con las métricas asociadas a las «condiciones de operación», originando así la integración de algunas subcaracterísticas, y la disminución del número de métricas.

## 5. REFERENCIAS

- [1] Durán-García, M. Pérez, M. Rincón, G. Mendoza, L. Modelo sistémico para la adopción de tecnología por la industria química. En: DYNA Ingeniería e Industria. Vol. 86 (5) pp. 531-538, 2011.
- [2] Hurtado, J. El proyecto de investigación. Caracas. Ediciones Quirón. 191 pp., 2012.
- [3] Durán-García, M. Durán-Aponte, E. Criterios organizacionales y de gestión en la transferencia de la tecnología química. En: Economía Gestión y Desarrollo. N.º 12. pp. 25-38, 2011.
- [4] Durán-García, M. Gasificación de la Biomasa Residual: Avances en bioingeniería. En: ingeniería y ciencias aplicadas: Modelos Matemáticos y Computacionales. Porlamar, Venezuela. pp BSB 7-BSB 12, 2014.
- [5] Álvarez, M. Rincón, G. Pérez, M. Initiatives To Face the Logistic Challenges of the Clean Fuel Age: a Software Selection Case. En: Manuscripts To World Congress Chemical Engineering. Vol. 7. pp 1-8, 2005.
- [6] Álvarez, M. Rincón, G. Pérez, M. Hernández, S. Evaluation and Selection of Discrete-Event Simulation Software for the Oil Industry. En: Latin American Applied Research. Vol. 38 (4). pp. 305-312, 2008.
- [7] Mendoza, L. Pérez, M. Griman, A. Propuesta del modelo sistémico de calidad (mosca) del software. En: Computación y Sistemas. Vol. 8 (3). pp. 196-221, 2005.
- [8] Rincón, G. Pérez, M. Álvarez, M. Hernández, S. A Discrete-Event Simulation and Continuous Software Evaluation on a Systemic Quality Model: an Oil Industry Case. En: Information and Management. Vol. 42 (8). pp. 1051-1061, 2005.
- [9] Rivera, C. Análisis termodinámico y planeación operacional de sistemas generadores de potencia. Trabajo de grado. Maestro en ciencias en ingeniería mecánica, Instituto Politécnico Nacional. México. pp. 1-137, 2002.



- [10] Turton, R. Bailie, R. Whiting, W. Analysis Synthesis and Design of Chemical Processes. EE. UU. New Jersey Prentice Hall PTR. 350 pp., 2008.
- [11] Durán-García, M. Ramírez, Y. Bravo, R. Rojas, L. Biogas Home-Production Assessment Using Organic Vegetable Waste. En: Interciencia. Vol. 37(2). pp. 128-132, 2012.
- [12] Durán-García, M. Ramírez, Y. Bravo, R. Rojas, L. Uso secundario de probetas PET en la valoración de producción de biogás con fines domésticos. En: X Congreso Latinoamericano de Toxicología y Química Ambiental. Vol. 10. pp. 1-6, 2011.
- [13] Durán-García, M. Blanco, A. y Pérez, L. Prototipo de un sistema de calorimetría con fines de rendimiento energético en la producción de biogás. En: Revista Venezolana de Tecnología y Sociedad. Vol. 6. pp. 11-24, 2013.
- [14] Bunge, M. La ciencia, su método y su filosofía. Buenos Aires. Siglo Veinte. 102 pp., 1981.