



*Centro de Estudios  
Ambientales de Cienfuegos*

# *Trabajo de Diploma*

*Título: Mejora en la gestión de la calidad aplicada a la  
biorremediación de la contaminación petrolera.*

*Autor: Darol Leyva Martínez*

*Tutor: Ing. David J. Castro Rodríguez*

*Consultantes: MSc. Miguel Santana  
DrC. Teresa Rodríguez*

*Año 2012*

  
**UNIVERSIDAD  
CIENFUEGOS**  
Carlos Rafael Rodríguez

  
**CIENCIAS ECONÓMICAS  
Y EMPRESARIALES**



Hago constar que la presente investigación fue realizado por la Universidad de Cienfuegos, como parte de la culminación de los estudios de la especialidad de Ingeniería Industrial, autorizando que la misma sea utilizado por los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos ni publicado sin la aprobación de la Universidad de Cienfuegos.

---

Nombre y Apellidos del Autor

---

Firma

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según el acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

---

Información Científico – Técnica  
Nombre y Apellidos. Firma

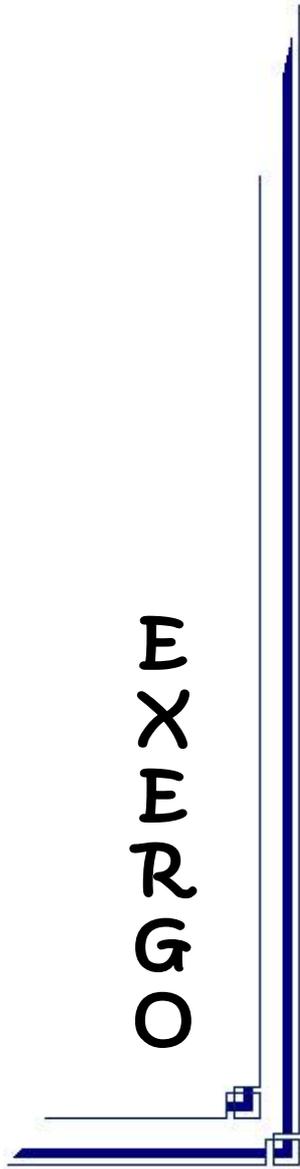
---

Computación  
Nombre y Apellidos. Firma

---

Nombre y Apellidos del Tutor. Firma

# EXERCISES



*“... seamos realistas y hagamos lo imposible”.*

*Ernesto Che Guevara*

ARCHITECTURE

*A mi mamá y mi papá, quienes con su esfuerzo, dedicación, sacrificio y mucho, amor, supieron inculcarme cuanto valor y sentimientos buenos hoy están en mí.*

*Ambos son, y serán siempre, faro en mi camino.*

AGRADECIMIENTOS

*En estos momentos quisiera expresar mis agradecimientos a todas las personas que de una forma u otra han colaborado con la realización de esta investigación:*

*Gracias infinitas para David, mi tutor, y más que eso, mi hermano y mi amigo, por tu inteligencia natural que duplica con creces tu corta edad. Estos meses han sido muy provechosos, por el cúmulo de conocimientos que sin ti, no hubiera sido posible agruparlos para llevar a vía de hecho los resultados de este trabajo, obra de nuestro esfuerzo y de tu inmensa dedicación.*

*Muchas gracias a Teresa Rodríguez y a Miguel Santana por su apoyo incondicional, sus consejos y aportes a este estudio.*

*Gracias a todo el departamento de Ingeniería Ambiental por acogerme como uno más en la entidad y siempre estar al tanto de la marcha de la investigación.*

*A la masonería, que me mostró el camino del intelecto, y por ende a todos mi hermanos masones por su preocupación, sepan que los llevo siempre presentes. Especialmente a Samuel, quién me dio la luz, y más que un hermano, para mí es un padre que me ha dado consejos sabios y oportunos.*

*A todos los profesores que a lo largo de estos cinco años supieron despertar en mí el interés por esta profesión, y cultivarme para algún día llegar a ser un excelente ingeniero. Especialmente a Anibal, Alejandro, Domingo y Berlan.*

*Quisiera agradecer igualmente a mi grupo de Ingeniería Industrial, “fiesteros por naturaleza”. Siempre llevaré presente a cada uno de mis compañeros, sin distinción, ya que formamos una familia a lo largo de estos años. Especialmente gracias a Dayana, Darelis, Maidefy, Sarait, Elizabeth Matos y Maday, mi grupo de amigas para toda la vida; a todas, mis humildes agradecimientos, por su cariño, sensatez, comprensión y desprendimiento, a pesar de todas mis bromas diarias, y por todos los momentos vividos.*

*Al Guille por brindarme su amistad incondicional e invaluable, por estar siempre presente cuando lo necesité, gracias mi hermano.*

*A Roberto "mi hermano dominicano" por tenerme tanta paciencia y hacerme merecedor de toda su confianza, de ti mi herma aprendí muchas cosas para la vida, aunque no lo creas, muchas gracias.*

*Gracias también a Mariana y Darien, con los cuales he compartido momentos inigualables, y por abrirme un espacio en su lista de amigos.*

*Agradezco además a Williams, el Yuyo, Ortuño y Rafe, mis amigos de la adolescencia, para ellos todo mi cariño y gratitud por permitirme conocerlos y formar parte de su vida, ya que creamos una amistad indestructible.*

*No quisiera pasar este momento sin antes mencionar cuatro nombres de valor incalculable para mí: Aibys, Héctor, Rubencito y el Yanni, mi hermanos, en este instante no existe palabra alguna que encierre todo el amor que siento hacia ustedes, por siempre estar presentes en los tiempos de necesidades y gozos, por crear juntos, en estos 25 años de mi vida, una cadena infranqueable para la eternidad.*

*Este apartado tiene un gran valor sentimental, pues en el mismo, le agradezco a la persona que representa para mí, la pareja ideal. Gracias por comprenderme en estos ocho años que se dicen fácil pero representan muchos momentos de alegría y tristeza que hemos compartido juntos y que de ninguno me arrepiento, siempre los llevaré en lo más profundo de mi corazón, eternamente gracias.*

*En estas líneas quisiera agradecer a Inés, Juan José y Juanito que me han hecho sentir como uno más de la familia y sepan que los llevo siempre en mi pensamiento porque soy afortunado de tener segundos padres y otro hermano de sangre. También sean extensivos los agradecimientos para Fidel Raúl, Juana, Mary, Liny, Tato, Gretchen y Florita.*

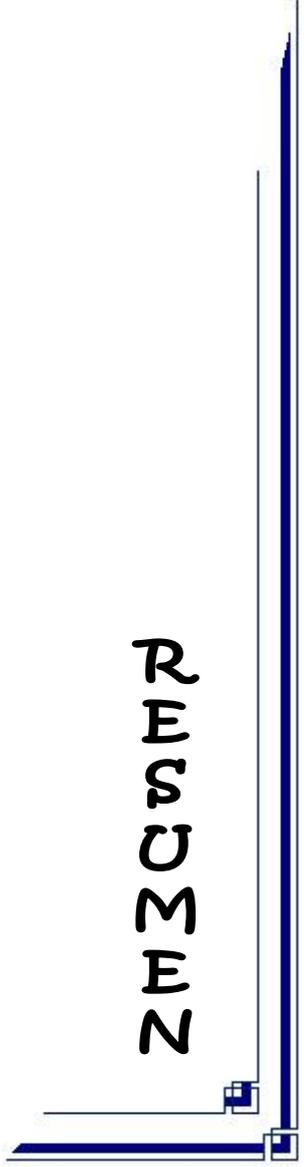
*Quisiera agradecer también a mis hermanos: Harold, Javier y Wilito, que a pesar de la distancia hemos tratado de estar siempre unidos, y créanme cuando les digo, que ustedes para mí son ejemplo de sacrificio.*

*Va este agradecimiento muy especial para la única fémina de los cinco hermanos, Jaray a ti te quiero con toda mi alma, aunque sea un poco exigente, créeme lo hago con la premisa de prepararte para la vida, sabiendo que no soy el más indicado. Mi hermanita ten siempre presente que por ti daría mi vida si es preciso, Te adoro.*

*Y para ustedes mis queridos padres, creo que son insuficientes los momentos en esta vida para agradecerle por darme lo esencial en este mundo, "el derecho de existir".*

*Muchas Gracias...*

RESUME

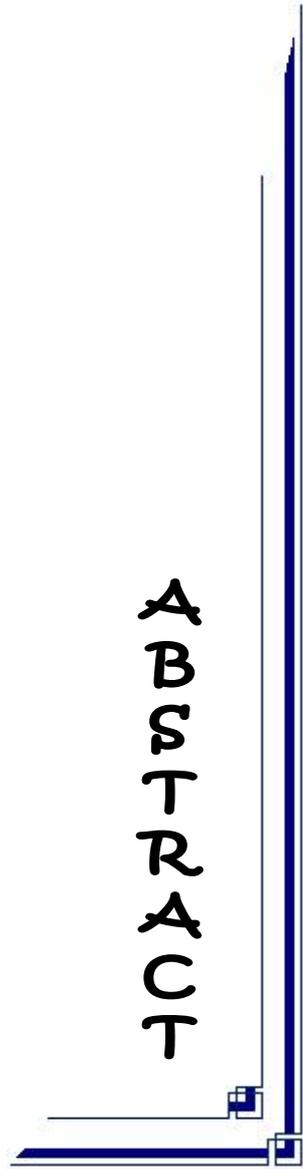


## RESUMEN

La investigación se realizó en el Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos, en el servicio “Biorremediación de Cayo Santa María”. Tuvo como principal objetivo, enfocar a procesos, los proyectos de rehabilitación ambiental de zonas contaminadas con hidrocarburos. Se implementó el procedimiento del Instituto Andaluz de Tecnología. Se utilizaron técnicas y herramientas de gestión de calidad como son: las “siete herramientas básicas”, mapa de procesos, método Delphi, diagramas de flujo, Análisis de Modo y Efecto de Fallas y se evalúan las exigencias técnico-organizativas del sistema. Para la proyección de mejoras se siguen los “ocho pasos en la solución de problemas”. Fueron identificados los macro procesos que conforman los proyectos de rehabilitación, se describen los más críticos respecto a su calidad. Estos se analizan como un sistema productivo, el cual incumple con tres de sus exigencias técnico-organizativas. El proyecto de mejora desarrolla una simulación que arrojó un incremento del 17 % en la utilización del carro cisterna. Se disminuye a menos de 24 horas, el tiempo de realización de una campaña de biorremediación, para una carga de 100 m<sup>3</sup> de bioproducto. En consecuencia se generó un ahorro de \$ 1 933.52 en moneda total y el período de recuperación de la inversión promedio es de 2.75 años. Concluyéndose que la propuesta es factible, tanto desde la dimensión técnica, como de la económica; con lo que aumenta la eficiencia y se contribuye a lograr bioprocesos más limpios.

**Palabras claves:** proyectos de rehabilitación ambiental, biorremediación, gestión basada en procesos, gestión de calidad, exigencias técnico-organizativas, simulación, bioproducto.

# ABSTRACT

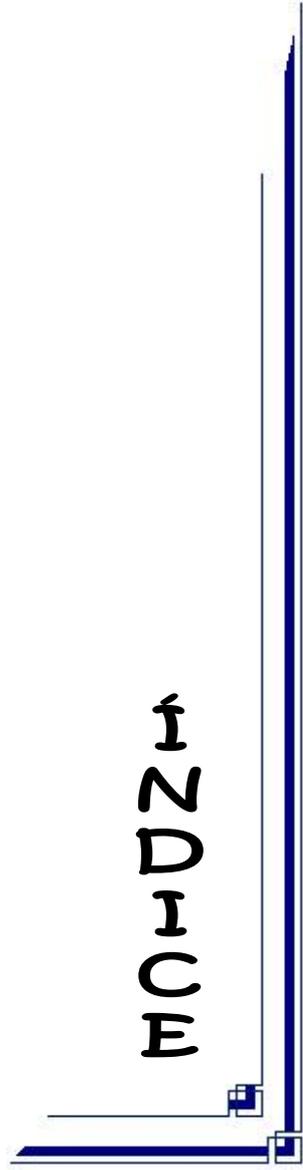


## **ABSTRACT**

The investigation was carried out in the Center of Environmental Studies of Cienfuegos, in the service "Biorremediation of Cayo Santa María". It had as main objective, to focus to processes, the projects of environmental rehabilitation of polluted areas with hydrocarbons. The procedure of the Andalusian Institute of Technology was implemented. They were used technical and tools of administration of quality like they are: those "seven basic tools", map of processes, method Delphi, diagrams of flow, Failure Mode and Effects Analysis, and the technician-organizational exigencies of the system are evaluated. For the projection of improvements those are continued "eight steps in the solution of problems". They were identified the macro processes that conform the rehabilitation projects, the most critical they are described regarding their quality. These they are analyzed as a productive system, the one which don't let it donw with three of their technician-organizational exigencies. The project of improvement develops a simulation that threw an increment of 17 % in the use of the car cistern. It diminishes to less than 24 hours, the time of realization of a biorremediation campaign, for a load of 100 m<sup>3</sup> bioproducto. In consequence was generated a saving of \$ 1 933.52 in total currency and the period of recovery of the investment average is of 2.75 years. Being concluded that the proposal is feasible, so much from the technical dimension, as of the economic one; with what the efficiency increases and it is contributed to achieve cleaner bioprocesos.

**Key words:** projects of environmental rehabilitation, biorremediation, administration based on processes, administration of quality, technician-organizational exigencies, simulation, bioproducto.

ΠΟΗΟΥΗ



**ÍNDICE**

INTRODUCCIÓN.....	19
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	26
1.1 Contaminación por hidrocarburos como parte de la contaminación ambiental .....	28
1.1.1 Contaminación de ecosistemas por hidrocarburos .....	29
1.2 La biorremediación como técnica para el tratamiento de ecosistemas contaminados por hidrocarburos .....	31
1.2.1 Diferentes métodos utilizados en la biorremediación .....	33
1.3 Proyectos de rehabilitación ambiental .....	35
1.3.1 Aspectos generales de la Gestión por Proyecto .....	36
1.4 Gestión basada en procesos.....	37
1.4.1 Conceptos de procesos. Elementos de los procesos .....	38
1.4.2 Tipos de procesos. Mapas de procesos.....	39
1.4.3 Procedimientos propuestos por diferentes autores para la gestión basada en procesos .....	42
1.5 Organización de la producción (OP) .....	45
1.5.1 El sistema productivo (SP) como objeto de estudio de la OP .....	47
1.5.2 Exigencias técnico-organizativas en la organización de la producción.....	51
Conclusiones parciales del capítulo .....	54
CAPÍTULO II: DIAGNÓSTICO ESTRATÉGICO Y ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	56
2.1 Caracterización del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos .....	56
2.2 Problema estratégico.....	61
2.3 Diseño metodológico .....	68
2.3.1 Definición de variables.....	68
2.3.2 Conceptualización y operacionalización de las variables .....	68
2.4 Procedimiento para enfocar a procesos los PRAZCH gestionados por el departamento de IA .....	69
Etapa I: Identificación y secuenciación de los procesos .....	70
Etapa II: Descripción de cada uno de los procesos .....	71
Etapa III: Seguimiento y medición de los procesos .....	73
Etapa IV: Mejora de los procesos.....	74
Conclusiones parciales del capítulo .....	78
CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS .....	80



---

3.1 Aplicación del procedimiento.....	80
Etapa I: Identificación y secuenciación de los procesos.....	80
Etapa II: Descripción del proceso seleccionado.....	81
Etapa III: Seguimiento y medición del proceso .....	86
Etapa IV: Mejora del proceso.....	94
Conclusiones parciales del capítulo .....	103
CONCLUSIONES GENERALES .....	105
RECOMENDACIONES .....	107
BIBLIOGRAFÍA.....	109
ANEXOS .....	114

ՀՅՈՍՏՈՐԻՆԻ

## **INTRODUCCIÓN**

La industria del petróleo constituye una de las más importantes del mundo. Ello obedece, entre otras razones, a la creciente demanda de este combustible fósil. Tal industria genera grandes y complejos problemas de contaminación, por las más diversas causas. Vale destacar entre ellas, por sus impactos ambientales negativos, los derrames del líquido y sus derivados en ecosistemas terrestres y marinos.

La mayoría de los desastres o accidentes petroleros que han ocasionado derrames de impacto global han sido ampliamente reportados y analizados por los medios internacionales. Entre los derrames que han tenido mayor connotación se hallan el de Torrey Canyon frente a las costas de Cornualles, Inglaterra, en 1967, y el de Exxon Valdez en Prince William Sound, Alaska, en marzo de 1989. El primero, vertió un volumen entre 586 000 y 872 000 barriles de petróleo y el segundo, alrededor de 240 000 barriles. Este último causó, en el plazo de una semana, una marea negra de 6 700 km<sup>2</sup>, que puso en peligro la vida silvestre y las pesquerías en toda el área (Núñez, 2003).

Los anales de la industria del petróleo en Cuba, registran ejemplos fehacientes de la contaminación por petróleo y sus derivados. Uno de los de mayor envergadura, de los ocurridos en el territorio nacional, tuvo lugar en septiembre de 2008. Entonces, tras la avería de un sector del oleoducto Puerto Escondido-Supertanqueros -en las cercanías del río Bacunayagua, en los límites de La Habana y Matanzas-, fueron contaminados 172 700 m<sup>2</sup> del estuario y la ensenada del río Bacunayagua, así como 3 610 km de tierra firme, comprendidos entre el río, la playa y la franja costera (Núñez et al., 2008).

Por citar otros ejemplos, en 1992, se reportó el vertimiento accidental de 100 t de petróleo crudo en la Bahía de Cienfuegos. Sucedió tras la varadura de la nave inglesa B/T Aida. En 1998, en la Bahía de Matanzas, se derramaron más de 500 t de petróleo Varadero (11 API), lo provocó la colisión de los buques Bravo y Sharadar. En el mismo año, el desmantelamiento de las instalaciones de la base de combustibles de la unidad distribuidora de Cienfuegos, produjo la acumulación de 479 m<sup>3</sup> de lodos petrolizados, los que contaminaron 70 000 m<sup>2</sup> de suelo y parte del litoral costero (Bermúdez et al., 2011). Por último, el recalo de 120 t de diesel marino en playa Jibacóa, al norte de la provincia La Habana, desatado por la limpieza de las sentinas de un barco desconocido, en el 2000, causó la contaminación de 500 m de costas, y la acumulación de diesel en 300 m de la playa antes mencionada (Núñez, 2003).

Una de las tecnologías más empleadas para el tratamiento de los residuos petrolizados, es la biorremediación (Maroto and Rogel, 2009, Sánchez and Rodríguez, 2005, Shmaefsky, 1999). Esta se basa en *“la capacidad que tienen los microorganismos de crecer a partir de la utilización de sustancias recalcitrantes al medio ambiente. Esta técnica permite tratar grandes volúmenes de contaminantes con un impacto ambiental mínimo, a diferencia de otros procedimientos de descontaminación”* (Shmaefsky, 1999). Los procesos de biorremediación han sido aplicados con éxito en limpieza de zonas afectadas por derrames de hidrocarburos. En la actualidad se cuenta con diversas formas de tratamiento, las cuales se ejecutan mediante proyectos de rehabilitación ambiental.

La Estrategia Ambiental cubana, ha identificado la contaminación por hidrocarburos como uno de los problemas ambientales del país, considerando que los residuos petrolizados se clasifican como peligrosos (CITMA, 1999). Para contrarrestar la contaminación por residuos petrolizados en Cuba, se desarrollan técnicas orientadas a su gestión por el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). El Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC), en colaboración con el Centro de Bioproductos Marinos (CEBIMAR); son instituciones rectoras en la aplicación de técnicas biocorrectivas para mitigar la contaminación por petróleo y sus derivados.

El CEAC, envuelto en la ola de cambios en el orden económico que se han sucedido en el país a partir del año 2011, transita de constituir una Unidad de Ciencia y Técnica presupuestada, a una empresa con esquema autofinanciado, en el cual el ingreso por concepto de comercialización de Servicios Científico-Técnicos (SCT) se convierte en el renglón correctivo fundamental para el sustento de la institución. Estos cambios traen como consecuencias que el CITMA reduzca la convocatoria de proyectos presupuestados, a tenor del criterio que las entidades beneficiadas con las investigaciones son las que deben actuar como financistas. Por esta razón, los ingresos a través de proyectos de ciencia sólo representan un por ciento de las finanzas necesarias para el pago de salarios a los trabajadores. En consecuencia, la empresa debe buscar su solvencia en la comercialización de los SCT, que según su objeto social, se le está permitido realizar.

Los resultados de un análisis interno-externo de las debilidades, fortalezas, amenazas y oportunidades, realizado en el CEAC (interpretado a través de una matriz DAFO), sitúan a la entidad en el cuadrante de Adaptabilidad. Deben minimizarse las debilidades, apoyándose en las principales fortalezas, para poder aprovechar al máximo las oportunidades del entorno. En este caso son recomendadas estrategias de penetración y desarrollo en los mercados del

territorio así como en los polos cercanos. Se deben encaminar los esfuerzos hacia la diferenciación de sus servicios partiendo de las áreas claves, para incorporar valores agregados que sean asimilados por el mercado.

A pesar de los esfuerzos de las empresas cubanas para lograr un desarrollo en el sector empresarial, en la actualidad sólo un 10 % de las empresas camina a la excelencia, 14 % están en mejoramiento y un 44 % clasifica con atrasos. Estas últimas, tienen la imperiosa necesidad de obtener una producción cada vez mayor, con una eficiencia relevante, única vía para solucionar su actual situación e insertarse en el mercado internacional. Para ello, se requiere de un alto grado de competitividad, lo que exige la implantación de un proceso de mejoramiento continuo (Valdés, 2009).

El CEAC (al no estar involucrado en el perfeccionamiento empresarial y no poseer un sistema de gestión de la calidad implementado en todos sus departamentos), se clasifica como empresa con atrasos. Según ISO 9000 (2000), los ocho principios de gestión de la calidad pueden ser utilizados por todas las organizaciones, con el fin de lograr una mejora de su desempeño. El enfoque basado en procesos constituye un pilar estratégico de la calidad total (Crosby, 1988, Trischler, 2000).

Es comprensible, emprender la gestión por procesos, dada su finalidad de satisfacer al cliente, con mejores resultados empresariales. Sin embargo, aún el CEAC no ha logrado la aplicación de ese método. Existen barreras que lo impiden. Uno de los errores cometidos es mantener el enfoque de gestión funcional, sin valorar que la “función” tiene en cuenta la especialización vertical en la tarea y el “proceso” parte de la especialización horizontal en el resultado.

La “gestión por procesos” es considerada el enfoque que rompe con la forma convencional de gestionar las organizaciones por funciones, conforme a que la gestión debe enfocarse hacia aquellos procesos que resultan claves en el cumplimiento de la misión (Nogueira, 2002).

El Departamento de Ingeniería Ambiental (DIA), perteneciente al CEAC, tiene como actividad fundamental, gestionar “*proyectos de rehabilitación ambiental en zonas contaminadas con hidrocarburos*” (en lo adelante se tratarán como PRAZCH). Estos proyectos, resultan estratégicos para generar ingresos a la institución. Ello se explica al constatar que según reportes económicos correspondientes al año 2011, los proyectos gestionados por el joven departamento, con sólo el 7% de los trabajadores directos del CEAC, se clasifican como claves, dado que generan más de la tercera parte de los ingresos de la empresa. Además, sus servicios se desarrollan en un sector que tiene y prevé crecimientos en el territorio, a partir de la

ejecución en él de las obras del polo petroquímico. Conjuntamente a los aspectos económicos abordados, estos proyectos poseen una significativa importancia en la dimensión ambiental. Consecuentemente los mismos han sido avalados por instituciones regulatorias a nivel nacional e internacional en dicha materia, como es: el Centro de Inspección y Control Ambiental (CICA) y la Sociedad Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal (SOLABIAA).

El término proyecto es definido según ISO 9000 (2000) como un *“proceso único consistente en un conjunto de actividades coordinadas y controladas con fechas de inicio y de finalización, llevadas a cabo para lograr un objetivo conforme con requisitos específicos, incluyendo las limitaciones de tiempo, costo y recursos”*. Su diseño y desarrollo están constituidos por un conjunto de procesos que transforman los requisitos en características especificadas o en la especificación de un producto.

Para (EMC, 2007, Varas, 2005) uno de los principios para el logro de la calidad en proyectos es: gestionar los procesos y actividades que aplican recursos escasos para conseguir los objetivos definidos, dentro de unos intervalos de tiempo y costes acotados, colaborando con la dirección general en la gestión estratégica del mismo.

Actualmente los procesos que conforman los proyectos gestionados por el DIA, no están identificados adecuadamente. Las decisiones para la medición y análisis de estos, se toman en correspondencia con la experticia de sus ejecutores. Estos carecen de documentos rectores y teóricos por los cuales establecer los necesarios procedimientos estructurados para la consecución de los objetivos y el logro de la mejora continua. En consecuencia, la organización vigente en los servicios de rehabilitación ambiental que se prestan en zonas contaminadas con residuos petrolizados, limita el aprovechamiento de las oportunidades para mejorar la ejecución de dichos servicios. Estos están lastrados por males crónicos que ocasionan no conformidades, pérdidas económicas y de tiempo que pueden ser eliminadas. Lo anterior constituye la **situación problemática** del presente estudio, a raíz de la cual se deriva la siguiente **pregunta problema**:

¿Podría la implementación del enfoque basado en procesos, mejorar los índices de gestión de calidad de los proyectos de rehabilitación ambiental de zonas contaminadas con hidrocarburos?

De lo anterior se genera la **Hipótesis** de la investigación:

*“La intervención con el enfoque de gestión basada en procesos, en los proyectos de rehabilitación ambiental de zonas contaminadas con hidrocarburos, proporciona una mejora de sus índices de calidad”*.

Constituye el **objetivo general** de esta investigación: Mejorar la gestión de la calidad en los proyectos de rehabilitación ambiental de zonas contaminadas con hidrocarburos.

Lo anterior se desglosa en los **objetivos específicos** de la investigación:

1. Organizar los procesos, de los proyectos de rehabilitación ambiental de zonas contaminadas con hidrocarburos.
2. Diagnosticar el desempeño de los procesos priorizados, a través de la determinación de indicadores.
3. Establecer un proyecto de mejora para los problemas detectados en el diagnóstico.

La **justificación de la investigación** está basada en los beneficios que aporta al CEAC, la aplicación del principio de gestión por procesos en los PRAZCH. Entre estos se encuentran:

El aporte en la dimensión operacional, que permite la estandarización de los métodos de ejecución de los PRAZCH. Además posibilita, la evaluación de la ejecución de estos servicios científico-técnico, mediante la determinación de indicadores estadísticos. Asimismo, contribuye al progreso continuo de la calidad, disminuyendo el tiempo de ejecución de las operaciones, optimizando recursos y aumentando la satisfacción del cliente. Todo lo descrito aumenta la factibilidad en la ejecución futura de los PRAZCH, lo que se traduce en una ventaja competitiva.

El trabajo quedó estructurado de la siguiente manera:

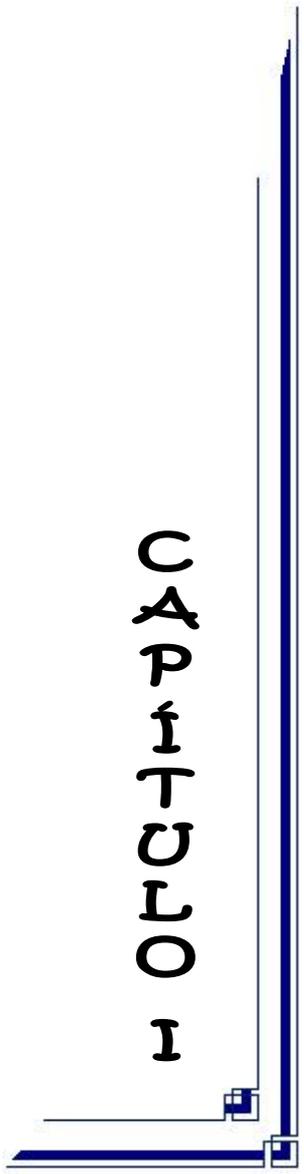
En el capítulo I se desarrolla el marco teórico referencial. Comprende aspectos relacionados con la contaminación ambiental, específicamente la contaminación por residuos petrolizados; así como el empleo de la biorremediación como alternativa de solución de las zonas afectadas, a través de proyectos de rehabilitación ambiental. Estos tienen gran importancia, debido a la creciente cantidad de casos de contaminación, tanto en ecosistemas terrestres como marinos. También se aborda el enfoque de gestión basado en procesos, como metodología para lograr un mejor desempeño en la implementación de lo proyectado. Además, se abordan temas relacionados con sistemas productivos y sus exigencias técnico-organizativas, principales bases metodológicas para la organización de la producción.

En el capítulo II se realiza una caracterización del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos, enfatizándose en el análisis estratégico para una mejor comercialización de sus servicios científico-técnicos. Las prestaciones ejecutadas por el departamento de ingeniería, hoy día son claves para cumplir los objetivos de la empresa. Se utiliza el procedimiento propuesto por el Instituto Andaluz de Tecnología (Beltrán et al., 2002), para enfocar a procesos

los proyectos de rehabilitación ambiental de zonas contaminadas con hidrocarburos. Lo anterior conforma un mecanismo de actuación capaz de influir sobre los procesos, en busca de la mejora continua, lo que se traduce en ventajas competitivas y aumento de la calidad.

En el capítulo III, se presentan los resultados obtenidos tras la implementación del procedimiento propuesto. Se identifican todos los procesos de los proyectos objeto de estudio. De acuerdo a la concordancia en las opiniones de los expertos consultados, se describen los procesos que de manera más crítica afectan la calidad. Posteriormente, se analizan estos procesos como un sistema productivo, determinándose sus exigencias técnico-organizativas. Finalmente se desarrolla un proyecto para mejorar estándares de calidad y contribuir a las producciones más limpias.

У А Р И Т О Л О Г И



## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

En el presente capítulo se desarrolla el marco teórico referencial de la investigación en curso. El mismo comprende aspectos relacionados con la contaminación ambiental, específicamente la contaminación por residuos petrolizados así como el empleo de la biorremediación como alternativa de solución para tratar las zonas afectadas, a través de proyectos de rehabilitación ambiental. Estos tienen gran importancia, debido a la creciente contaminación, tanto en ecosistemas terrestres como marinos. También se aborda el enfoque de gestión basado en procesos como metodología para lograr un mejor desempeño en la implementación de lo proyectado. Además se abordan temas relacionados con la organización de la producción, teniendo en cuenta los sistemas productivos y las exigencias técnico-organizativas como las principales bases metodológicas para realizar un análisis del proceso en estudio.

En la figura 1.1 se representa el hilo conductor que organiza de manera lógica los temas abordados.

La contaminación ambiental siempre ha existido pues, en parte, es inherente a las actividades del ser humano. En los últimos años se comienza a prestar cada vez mayor atención, ya que han aumentado la frecuencia y gravedad de los incidentes contaminantes en todo el mundo y cada día hay más pruebas de sus efectos adversos sobre el ambiente y la salud (Albert, 2004). Los argumentos expuestos respaldan la necesidad de tratar lo referente al tema.

Según Flores et al., (2004) el término contaminación lo define *“como la introducción al ambiente de un compuesto, en cantidad tal que incrementa su concentración natural, y que excede la capacidad de la naturaleza para degradarlo y reincorporarlo a los ciclos de transformación de materia y energía”*.

La contaminación es consecuencia fundamentalmente de las actividades humanas, en particular, las productivas como por ejemplo, las relacionadas con la generación de energía, la industria en general, o la agricultura. Además Albert (2004), plantea que las actividades no productivas pueden causar contaminación, como ejemplo se tiene, las labores del hogar, entre otras; y que puede ser consecuencia de procesos sociales como el crecimiento demográfico, los movimientos migratorios y la urbanización.

El desarrollo alcanzado por la humanidad, así como los esquemas de vida actuales, demandan un gran consumo de energía, la cual se obtiene fundamentalmente a partir de combustibles fósiles. Durante los procesos de extracción, transporte y almacenamiento de estos

combustibles, ocurren derrames no deseados de estos compuestos que se clasifican como residuos peligrosos.

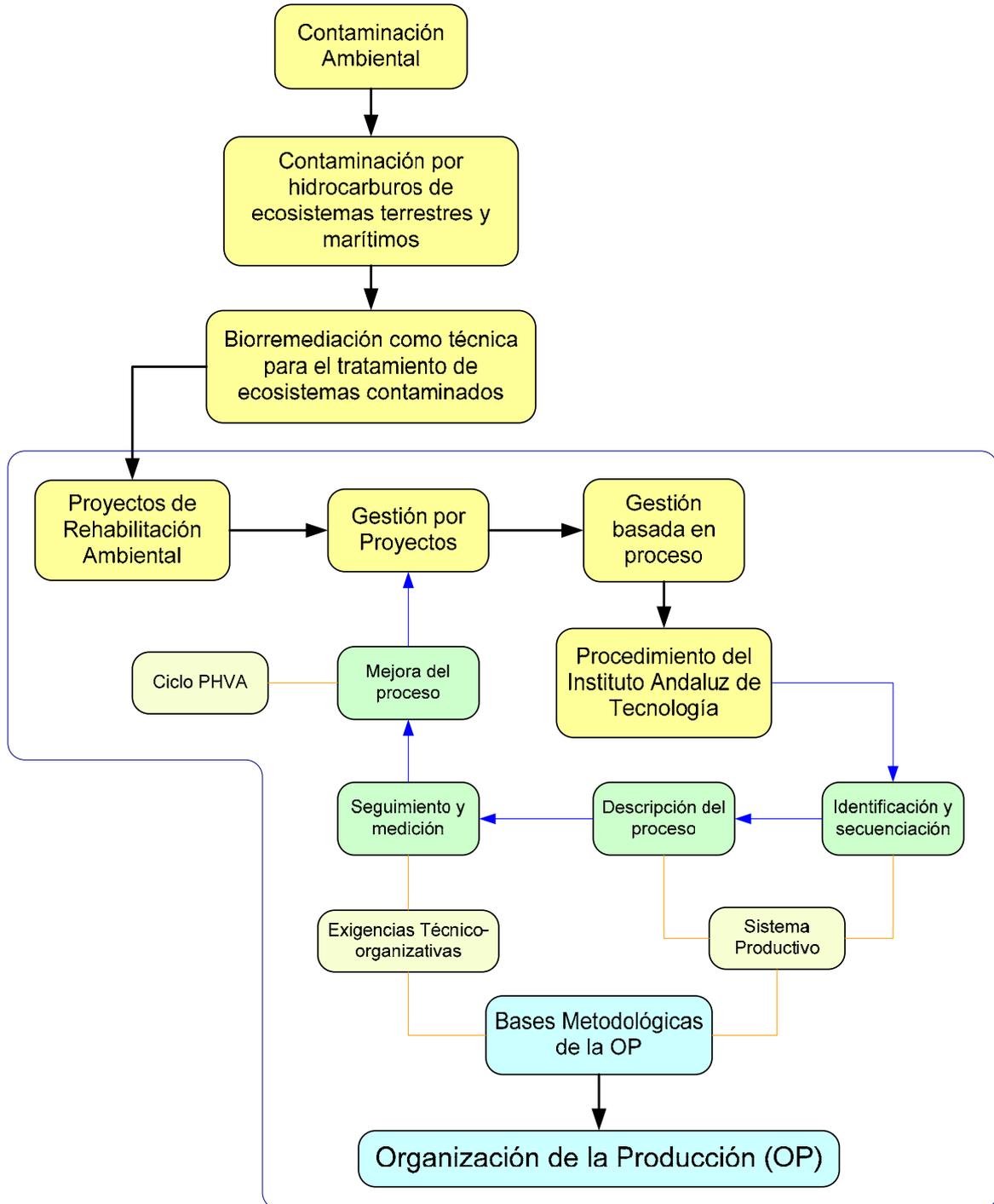


Figura 1.1. Hilo conductor diseñado para la presente investigación. Fuente: Elaboración propia.

Por su nocivo impacto al ambiente y al hombre se cree oportuno abordar aspectos relacionados con la contaminación por hidrocarburos, siendo parte del objeto de estudio en el presente trabajo.

### **1.1 Contaminación por hidrocarburos como parte de la contaminación ambiental**

Para arribar al tema en cuestión se precisa, ante todo, dejar claro el término petróleo o hidrocarburo como también se le conoce. El crudo de petróleo se caracteriza por ser un líquido negro, viscoso y con una composición química sumamente compleja, pudiendo contener miles de compuestos, básicamente de la familia de los hidrocarburos (Rosini, 1960)

El petróleo es el resultado de la degradación anaeróbica de materia orgánica, durante largos períodos de tiempo y bajo condiciones de alta temperatura y presión, que la convierte en gas natural, crudo y derivados del petróleo (Vargas et al., 2004). La industria del petróleo constituye una de las más importantes del mundo. Ello obedece, entre otras razones, a la creciente demanda de este combustible fósil. Tal industria genera grandes y complejos problemas de contaminación, por las más diversas causas. Vale destacar entre ellas, por sus impactos ambientales negativos, los derrames del líquido y sus derivados en ecosistemas terrestres y marinos. Esta ha recibido gran atención en los últimos años y sobre todo en lo referido al destino y a los efectos tóxicos que trae consigo el petróleo derramado.

Debido a los grandes volúmenes de crudo que se manejan en la industria petrolera, resulta muy probable la ocurrencia de contaminación con hidrocarburos, tanto en tierra como en cuerpos de agua. Existiendo dos escenarios fundamentales en los cuales existe mayor presencia de derrames como son:

- Terrestre (ruptura de ductos y depósitos de almacenamiento, transportación ferroviaria y por carreteras, manejo inadecuado de lodos de acumulación y cortes de perforación, entre otras).
- Marítima (operaciones de limpieza, carga, descarga, y colisiones de buques tanqueros y supertanqueros, así como, la ruptura de ductos submarinos y malas operaciones en plataformas de extracción mar adentro, entre otras).

El procesamiento del petróleo se compone de las siguientes etapas: explotación, transporte, refinamiento, almacenamiento y uso. La extracción, transporte y procesamiento generan grandes volúmenes de desechos como lodos petrolizados, aguas de formación y petróleo crudo. Formados básicamente por compuestos orgánicos aromáticos, poliaromáticos, derivados de hidrocarburos, compuestos inorgánicos y metales. Siendo difíciles de degradar de manera

natural por la complejidad de su estructura y pueden actuar como contaminantes si no se gestionan de manera adecuada (Eweis, 1999).

La Estrategia Ambiental cubana, ha identificado la contaminación por hidrocarburos como uno de los problemas ambientales del país, considerando que los residuos petrolizados se clasifican como peligrosos (CITMA, 1999). Por este motivo el grupo de trabajo considera oportuno abordar el tema.

### **1.1.1 Contaminación de ecosistemas por hidrocarburos**

Los ecosistemas terrestres y marinos representan el medio físico que sustenta la vida de diversas especies tanto animales como vegetales. La contaminación por hidrocarburos tiene un pronunciado efecto sobre las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de las zonas. Además del impacto ambiental negativo, los derrames de hidrocarburos generan impactos de tipo económico, social y de salud pública en las zonas aledañas al lugar afectado (Castro, 2009).

La mayoría de los desastres o accidentes petroleros que han ocasionado derrames de impacto global han sido ampliamente reportados y analizados por los medios internacionales. Entre los derrames que han tenido mayor connotación se hallan el de Torrey Canyon frente a las costas de Cornualles, Inglaterra, en 1967, y el de Exxon Valdez en Prince William Sound, Alaska, en marzo de 1989. El primero, vertió un volumen entre 586 000 y 872 000 barriles de petróleo y el segundo, alrededor de 240 000 barriles. Este último causó, en el plazo de una semana, una marea negra de 6 700 km<sup>2</sup>, que puso en peligro la vida silvestre y las pesquerías en toda el área. Por su parte entre las mayores mareas negras registradas hasta el momento se encuentran: la del petrolero Amoco Cádiz, frente a las costas francesas, en 1978, con 1 635 000 barriles de crudo y el producido en el campo de Nowruz, Golfo Pérsico, en 1983, con 1 906 000 barriles de crudo (Núñez, 2003).

Dentro de los accidentes reportados de mayor impacto ambiental en el área están: el del pozo petrolífero Ixtoc I, de Pemex, en 1979, el cual vertió entre 3 328 000 y 3 518 000 barriles de crudo (Núñez, 2003) y 32 años más tarde el 22 de abril de 2010, el derrame producido por la explosión de la plataforma Deepwater Horizon de la empresa British Petroleum (BP), donde fueron vertidos al mar más de 4 900 000 barriles de petróleo crudo, considerado hoy como el mayor desastre petrolero de la historia (Dávalos, 2010).

La región del Caribe por su parte, sufre un daño considerable debido a los vertimientos sistemáticos de hidrocarburos. Se estima que el 90% de las cargas contaminantes por petróleo

que ingresan en las aguas costeras de la región están relacionadas con fuentes industriales como las refinerías y las plantas petroquímicas. Por pequeños derrames, se tiene especialmente, la descarga de aguas de lavado de tanques en los supertanqueros que son transportados por las corrientes oceánicas, para terminar como agregados de alquitrán en playas y arrecifes coralinos. Uno de los vertimientos de mayor escala global totalizó unos 872 000 barriles debido a la colisión de dos petroleros, el Aegean Captain y el Atlantic Empress, cerca de Trinidad y Tobago en 1979 (Núñez, 2003).

Los anales de la industria del petróleo en Cuba, registran ejemplos fehacientes de la contaminación por petróleo y sus derivados. Uno de los de mayor envergadura, de los ocurridos en el territorio nacional, tuvo lugar en septiembre de 2008. Entonces, tras la avería de un sector del oleoducto Puerto Escondido-Supertanqueros -en las cercanías del río Bacunayagua, en los límites de La Habana y Matanzas-, fueron contaminados 172 700 m<sup>2</sup> del estuario y la ensenada del río Bacunayagua, así como 3 610 km de tierra firme, comprendidos entre el río, la playa y la franja costera (Núñez et al., 2008).

Por citar otros ejemplos, en 1992, se reportó el vertimiento accidental de 100 t de petróleo crudo en la Bahía de Cienfuegos. Sucedió tras la varadura de la nave inglesa B/T Aida. En 1998, en la Bahía de Matanzas, se derramaron más de 500 t de petróleo Varadero (11 API), lo provocó la colisión de los buques Bravo y Sharadar. En el mismo año, el desmantelamiento de las instalaciones de la base de combustibles de la Unidad Distribuidora de Cienfuegos, produjo la acumulación de 479 m<sup>3</sup> de lodos petrolizados, los que contaminaron 70 000 m<sup>2</sup> de suelo y parte del litoral costero (Bermúdez et al., 2011). A su vez, el recalco de 120 t de diesel marino en playa Jibacóa, al norte de la provincia La Habana, desatado por la limpieza de las sentinas de un barco desconocido, en el 2000, causó la contaminación de 500 m de costas, y la acumulación de diesel en 300 m de la playa antes mencionada (Núñez, 2003).

Por último, el 24 de marzo de 2010 en Arroyo la Bomba, provincia de Cienfuegos, tras el descarrilamiento de tres carros cisternas en el tramo Refinería “Camilo Cienfuegos”-Planta Fertilizantes, se derramaron 121 m<sup>3</sup> de fueloil y 46 m<sup>3</sup> de diesel, contaminando más de 20 000 m<sup>2</sup> de suelo, y lagunas naturales, además de 5 km de río hasta su desembocadura en la bahía (Bermúdez et al., 2011).

Los hidrocarburos tienen el poder de causar daños sumamente graves en los humanos, como puede ser algún tipo de cáncer, afecciones respiratorias, enfermedades dermatológicas, entre otras (Castro, 2009). La gestión ambiental adecuada de los residuos sólidos con alto contenido de hidrocarburos generados durante los procesos de la perforación, extracción y producción del

petróleo se encuentra dentro de las prioridades fundamentales de la industria petrolera. Siendo necesario implementar métodos de tratamiento para la recuperación de los ecosistemas afectados, para que sean ambientalmente aceptables y económicamente rentables.

Existen hoy disímiles tecnologías orientadas a la gestión de los residuos petrolizados, de las cuales para una eficiente aplicación obliga a un análisis técnico-económico y ambiental de cada una de las opciones y su factibilidad de aplicación.

A juicio de diferentes investigadores, una de las tecnologías más empleadas para el tratamiento de los residuos petrolizados, es la biorremediación (Maroto and Rogel, 2009, Sánchez and Rodríguez, 2005). En el siguiente epígrafe se abordan temas referidos a esta técnica.

## **1.2 La biorremediación como técnica para el tratamiento de ecosistemas contaminados por hidrocarburos**

La biorremediación se basa *“en la capacidad que tienen los microorganismos de crecer a partir de la utilización de sustancias recalcitrantes al medio ambiente. Esta técnica permite tratar grandes volúmenes de contaminantes con un impacto ambiental mínimo, a diferencia de otros procedimientos de descontaminación”* (Shmaefsky, 1999).

La tecnología de biorremediación como tratamiento de ecosistemas contaminados por hidrocarburos se sustenta fundamentalmente, según Alexander (1999), en la capacidad metabólica de las poblaciones microbianas existentes, frente a los contaminantes presentes en la zona afectada.

Según Maroto y Rogel (2009), las medidas biocorrectivas o los sistemas de biorremediación consisten principalmente en el uso de los microorganismos naturales (levaduras, hongos o bacterias) existentes en el medio, para descomponer o degradar sustancias peligrosas en sustancias de carácter menos tóxico, o bien inocuas para el medio ambiente y la salud humana.

Otras definiciones de este término son expuestas en el **Anexo 1**, a partir de criterios pronunciados por diferentes autores.

El autor del presente trabajo considera que la definición que más se adecua al contexto de la investigación es la enunciada por Vargas et al., (2004), pues, de forma resumida explican en qué consiste la tecnología de biorremediación y además, a diferencia de otros autores, incluyen al hombre como ente físico para llevarla a vías de hecho.

Desde hace décadas se emplean medidas biocorrectivas en el saneamiento de ecosistemas contaminados por hidrocarburos, teniendo importante éxito. Para Maroto y Rogel (2009) estas técnicas biológicas pueden ser de tipo aerobio, si se producen en condiciones oxigenadas (presencia de un medio oxidante), o bien de tipo anaerobio, en ausencia de oxígeno (medio reductor).

#### **Degradación aerobia:**

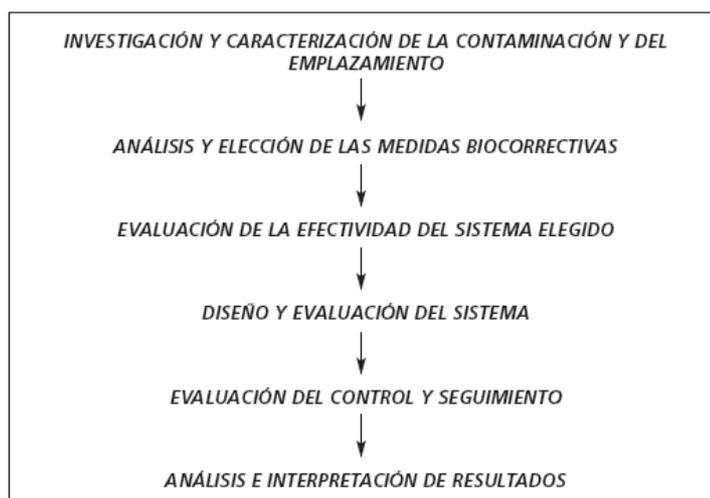


#### **Degradación anaerobia:**



Los sistemas de descontaminación según el criterio de los autores citados, se basan en la digestión de las sustancias orgánicas por los microorganismos autóctonos o alóctonos, de la cual obtienen la fuente de carbono necesaria para el crecimiento de sus células y una fuente de energía para llevar a cabo todas las funciones metabólicas, que necesitan sus células para su crecimiento.

El diseño de estos sistemas de tratamiento se lleva a cabo estableciendo varias etapas de trabajo, como las que se ilustran en la figura 1.2.



**Figura 1.2. Esquema de diseño y aplicación de los sistemas de biotratamiento. Fuente: (Maroto and Rogel, 2009).**

Basándose en la figura anterior, antes de iniciar cualquier estudio de biorremediación es preciso realizar una caracterización de la contaminación y del emplazamiento de forma rigurosa, para

conocer si la población microbiana existente en el suelo es potencialmente degradadora de los contaminantes presentes y es suficiente para llevar a cabo el proceso de biodegradación en un tiempo razonable (Wrenn and Venosa, 1996).

Para aplicar satisfactoriamente la biorremediación es vital que existan en el medio, condiciones físico-químicas favorables, tales como:

- pH: 6 – 8
- Humedad: 60- 80 % de la capacidad del campo
- Temperatura: 20 – 40 °C
- Concentración de bacterias degradadoras ( $10^3 - 10^4$  UFC / g)

Para Ercoli et al., (1999) los procesos de biorremediación han sido exitosamente aplicados en limpieza de zonas afectadas por derrames de hidrocarburos y en la actualidad se cuenta con diversas tecnologías, pero esta es considerada a criterio del mencionado autor como la más deseable aproximación a la remediación de ecosistemas contaminados, en contraste con alternativas mucho más costosas y de menor aceptación pública tales como la incineración.

Según Sánchez y Rodríguez (2005), las ventajas que posee la técnica tratada, se resume en que:

- Se transfiere poca contaminación de un medio a otro.
- Es una tecnología poco intrusiva en el medio y generalmente no requiere componentes estructurales o mecánicos dignos de destacar.
- Al tratarse de un proceso natural, suele tener aceptación por parte de la opinión pública, además puede aplicarse *in situ* (en el lugar afectado), o *ex situ* (en laboratorios, o lugares creados para el tratamiento).

Dentro de esta técnica existen disímiles métodos, que por su importancia, a criterio del autor del presente estudio, son tratadas a continuación.

### **1.2.1 Diferentes métodos utilizados en la biorremediación**

Los procesos de biodegradación constan de un conjunto de técnicas ó prácticas cuyo fin es estimular la degradación de contaminantes contribuyendo a la restauración del ecosistema mediante procesos biológicos (Luque, 2009). Los cuales se emplean según las características de la zona afectada, de forma general estos se clasifican de acuerdo con lo mostrado en el **Anexo 2**.

De todos los métodos con que cuenta la técnica de biorremediación entre los más utilizados se encuentra la bioestimulación y la bioaumentación. Actualmente existe gran polémica sobre la eficiencia y la factibilidad de ambos métodos (Bermúdez, 2012).

La bioestimulación como técnica, emplea la amplia distribución de los microorganismos en los más variados ecosistemas, permitiendo que los autóctonos de la zona contaminada sean capaces de biorremediar; siendo necesaria únicamente la adición de fertilizantes y nutrientes para estimular el crecimiento de las poblaciones de especies biodegradadoras (Oppenheimer Biotechnology, 2001).

Quienes proponen la bioaumentación insisten en el hecho de que la mejor forma de eliminar la sustancia no deseada es añadir al sitio, cultivos microbianos capaces de degradar los contaminantes específicos de cada situación (Aldrett et al., 1997, Sánchez and Rodríguez, 2005). La misma reduce el tiempo de respuesta ante un derrame y no afecta el medio ambiente sino que elimina los materiales contaminantes liberados al medio antes y durante las labores de contingencia.

El uso de la bioestimulación como técnica de biorremediación es cuestionable. Los microorganismos autóctonos capaces de producir enzimas para la degradación de hidrocarburos se encuentran en la naturaleza en porcentaje bajo y requieren un período de tiempo relativamente largo para su adaptación. Por otra parte los fertilizantes añadidos al medio pueden ser utilizados de forma competitiva por otros microorganismos, limitando así el crecimiento de las especies hidrocarbonoclastas (Núñez, 2003). Cuando se aplica de forma adecuada la bioaumentación resulta más eficiente, rápida y menos costosa que la bioestimulación (Venosa et al., 1996).

El uso de la biorremediación, además de los beneficios ya tratados, tiene como contrapartida riesgos ocupacionales, que según (Farache, 2008), pueden ser físicos, químicos y biológicos, y deben ser controlados de manera rigurosa para evitar todo tipo de accidentes y padecimientos no deseados en los trabajadores que lleven a cabo la actividad rehabilitadora de las zonas contaminadas.

La técnica de biorremediación ha sido objeto de estudio, así como de aplicación, en diversos países como: Venezuela, Argentina, España, entre otros. En los cuales se han obtenido excelentes resultados, debido a las ventajas que ofrece su implementación. También Cuba cuenta con estudios en este campo, concretados en proyectos de rehabilitación ambiental.

### 1.3 Proyectos de rehabilitación ambiental

La transformación de ecosistemas naturales por causas antrópicas ha tenido un gran impacto en la naturaleza, con la consecuente pérdida de la biodiversidad y de las funciones vitales inseparables al medio ambiente. Esto pone en riesgo tanto a los propios ecosistemas como al desarrollo de la sociedad.

Como expresión de una necesidad para la protección del medio ambiente, surgen los proyectos de rehabilitación ambiental de zonas contaminadas con hidrocarburo (PRAZCH), los cuales han venido cobrando auge e importancia, debido a la creciente contaminación, tanto en ecosistemas terrestres como en marítimos (Castro, 2009).

Para una mejor comprensión de todo lo referente a esta temática es pertinente precisar los términos: proyectos y rehabilitación ambiental, por separado.

Según UNE 157801 (2005) un proyecto *“es el conjunto de actividades planificadas y coordinadas, controladas, presupuestadas, y documentadas con fechas de comienzo y finalización, que se emprende para alcanzar unos objetivos conforme a requisitos específicos, por una organización temporal adaptada a sus necesidades”*.

El término proyecto, según ISO 9000 (2000), es un proceso único, consistente en un conjunto de actividades coordinadas y controladas con fechas de inicio y de finalización, llevadas a cabo para lograr un objetivo conforme con requisitos específicos, incluyendo las limitaciones de tiempo, costo y recursos. Su diseño y desarrollo están constituidos por un conjunto de procesos que transforma los requisitos en características especificadas o en la especificación de un producto.

Los proyectos presentan tres características esenciales: son trabajos únicos o no corrientes para la organización, contiene actividades complejas e interrelacionadas que requieren una cualificación especializada, y son temporales pero críticos para la organización (Padrón, 2007). Los mismos normalmente son desarrollados por equipos de proyecto que se disuelven una vez que el proyecto es concluido.

El equipo de proyecto es una estructura organizacional temporal que agrupa durante un tiempo limitado, a personas procedentes de las distintas áreas funcionales de la empresa y a los recursos físicos necesarios para completar el proyecto.

El término rehabilitación, según Castro (2009) a partir de criterios consultados lo define como, *“el resultado de la implementación de un plan de acciones estratégicas encaminadas a restablecer funciones o características de determinados escenarios u objetos afectados, teniendo en cuenta las potencialidades remanentes de los mismos, con el fin de redimensionarlas acorde a posibilidades reales”*. En tal caso se ajusta este concepto a la rehabilitación ambiental, considerando el medio ambiente como escenario u objeto afectado al que se le aplican las medidas rehabilitadoras.

Para Bown (2008) la rehabilitación ambiental se fundamenta *“en el conocimiento de los principios y las causas de degradación de los sistemas naturales. Su objetivo es mejorar la calidad de vida de la sociedad con el desarrollo de proyectos que recuperen los espacios alterados y/o degradados. La implementación de estos, permite restablecer el equilibrio de los componentes ambientales, sociales y económicos asociados a la restauración de la funcionalidad de los ecosistemas degradados”*.

Integrando los términos anteriormente expuestos se conforma la expresión proyectos de rehabilitación ambiental, los mismos tienen como objetivo fundamental la remodelación del terreno. Además en ellos se definen las principales técnicas a utilizar, el programa de las diferentes actividades, así como también, las actividades relacionadas con el seguimiento y control. Fundamentado todo esto en la metodología de gestión de proyectos, cuyos aspectos generales se exponen de inmediato.

### **1.3.1 Aspectos generales de la Gestión por Proyecto**

El *Project Management* es un término que engloba la Gestión Integrada de Proyectos y el conjunto de herramientas que permiten optimizar su ejecución (Maeso and Rosa, 2004). Además le permiten al directivo tomar decisiones según la etapa en que se encuentre el mismo.

La gestión por proyectos supone tres etapas según (Padrón, 2007):

- **La planificación de proyectos.** Esta actividad supone: definir el proyecto mediante un objetivo específico y una fecha de finalización, desglosar el proyecto en un conjunto de actividades relacionadas y establecer las necesidades brutas de mano de obra, suministros y equipos.
- **La programación de proyectos.** La misma sirve a diferentes propósitos: identifica las relaciones de precedencia, mostrando las relaciones entre las actividades y la totalidad del proyecto, calcula las necesidades de mano de obra y materiales, además de establecer estimaciones de tiempo y coste para cada actividad.

- **El control de proyectos.** Este supone: el seguimiento de los recursos, costes, calidad y presupuesto; la utilización del bucle de *feedback* para la programación del proyecto, revisando y actualizando el plan además de verificar la capacidad para trasladar recursos donde más se necesite.

Los objetivos de la gestión de proyecto según (EMC, 2007) son:

1. Dar soporte y/o dirigir al equipo técnico desde el punto de vista de los objetivos del proyecto y asegurar que todos los implicados mantengan sus compromisos con dichos objetivos.
2. Gestionar los procesos y actividades que aplican recursos escasos para conseguir los objetivos definidos, dentro de unos intervalos de tiempo y costes acotados, colaborando con la dirección general en la gestión estratégica del mismo.
3. Asegurar que se preparen los informes y documentos correspondientes y se comunique a todos los interesados la información adecuada, para facilitar la toma de decisiones correcta durante la realización del proyecto.

Independientemente de cómo se considere el ciclo vital, el punto más importante para tener en cuenta, es que a lo largo de su vida todo proyecto es dinámico, es un organismo en continuo desenvolvimiento, lo que puede provocar grandes impactos sobre su capacidad para cumplir las metas, si no son bien formalizados sus objetivos e indicadores de gestión. La administración moderna plantea como condición determinante para desarrollar el enfoque al cliente, la gestión de la calidad y el control en ese sentido, la gestión sobre la base de procesos (Villa and Pons, 2006).

De hecho, según lo tratado en este epígrafe, los proyectos de rehabilitación ambiental, se pueden entender como macro-procesos únicos que incluyen dentro de sí otros procesos, sin perjuicio de que, a su vez, uno de estos procesos se pueda desplegar en otros procesos (que podrían denominarse como subprocesos, o procesos de segundo nivel), y así sucesivamente.

#### **1.4 Gestión basada en procesos**

El enfoque basado en procesos es un principio de gestión de la calidad básico y fundamental para la obtención de resultados, y así se recoge tanto en la familia de normas ISO 9000 como en el modelo descrito por la Fundación Europea para la Gestión de la Calidad (EFQM por sus siglas en inglés), estos principios se pueden ver en el **Anexo 3**.

Entre estos principios de gestión de la calidad, uno de los que implican mayores cambios respecto a la clásica configuración de los sistemas de aseguramiento de la calidad es precisamente el principio de enfoque basado en procesos. Para ISO 9000 (2000) este principio sostiene que: *“un resultado se alcanza más eficientemente cuando las actividades y los recursos se gestionan como un proceso”*.

#### 1.4.1 Conceptos de procesos. Elementos de los procesos

Para Villa y Pons (2006) un proceso *“es cualquier actividad o conjunto de actividades secuenciales que transforma elementos de entrada (inputs) en resultados (outputs). Los procesos utilizan recursos para llevar a cabo dicha transformación y además tienen un inicio y un final definidos”*.

La EFQM lo describe como *“la secuencia de actividades que van añadiendo valor mientras se produce un determinado producto o servicio a partir de determinadas aportaciones”*. Mientras, la ISO 9000 (2000) lo define como *“el conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados”*.

El autor de la presente investigación concuerda plenamente con la definición expuesta por Villa y Pons (2006), ya que, en ella se aborda claramente y sin obviar ningún detalle en qué consiste un proceso. En la siguiente figura se representa gráficamente los principales elementos que componen un proceso.



**Figura 1.3. Definición gráfica de proceso. Fuente: (Villa and Pons, 2006).**

De manera general, en todo proceso se identifican los elementos siguientes (Villa and Pons, 2006):

- *Elemento Procesador*: Personas o máquinas que realizan el conjunto de actividades del proceso.
- *Secuencia de actividades*: Orden de las actividades que realiza el *elemento procesador*.
- *Entradas (Inputs)*: Son los flujos que requiere el elemento procesador para poder desarrollar su proceso. Ejemplo de ello son los materiales, información, condiciones medioambientales, entre otras.
- *Salidas (Outputs)*: Flujo que genera el elemento procesador en el desarrollo de la secuencia de actividades del proceso. La salida es el flujo, resultado del proceso, ya sea interno o externo.
- *Recursos*: Son los elementos fijos que emplea el elemento procesador para desarrollar las actividades del proceso. Un ejemplo de recursos son las máquinas.
- *Cliente del proceso*: Es el destinatario del flujo de salida del proceso. Si se trata de una persona de la organización se dice que es un cliente interno. Si el destinatario es el final, entonces se trata de un cliente externo.
- *Expectativas del cliente del proceso con respecto al flujo de salida*: Son conceptos que el cliente del proceso espera ver incorporados al flujo de salida del proceso y que si no aparecen, será capaz de detectar. Éstas condicionan su nivel de satisfacción.
- *Indicador*: Es una relación entre dos o más variables significativas, que tienen un nexo lógico entre ellas y que proporcionan información sobre aspectos críticos o de importancia vital cuyo comportamiento es necesario medir, para la conducción de los procesos de la empresa. La definición de indicadores exige la operacionalización previa de las variables involucradas.
- *Responsable del proceso*: Es el propietario del proceso, quien responde por su desempeño.

#### 1.4.2 Tipos de procesos. Mapas de procesos

Toda organización puede representarse como una compleja red de elementos que realizan actividades que les permiten interrelacionarse unas con otras para alcanzar los fines (misión) del sistema. Cada una de estas interrelaciones puede representarse y gestionarse como un proceso (Villa and Pons, 2006).

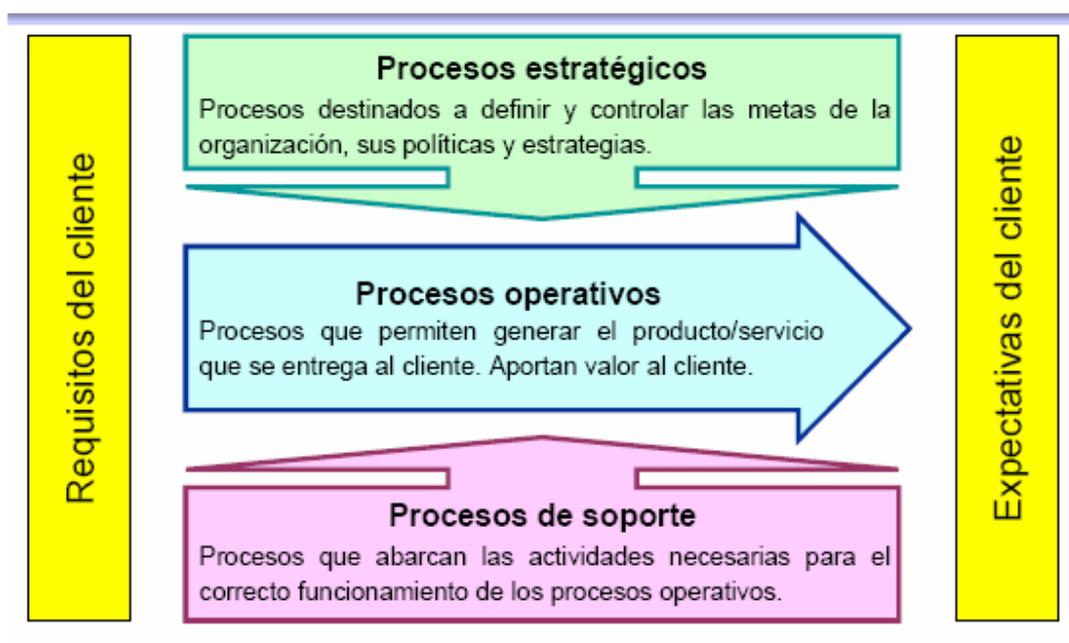
Los procesos, atendiendo a su finalidad, pueden clasificarse en tres categorías (Beltrán et al., 2002, Villa and Pons, 2006):

- *Procesos estratégicos*: Son procesos destinados a definir y controlar las metas de la organización, sus políticas y estrategias, además de permitir llevar adelante su

desarrollo. Se encuentran relacionados directamente con la misión y visión de la organización, involucrando a su personal de primer nivel y afectando a la entidad en su totalidad.

- *Procesos operativos ó claves:* Son procesos que permiten generar el producto y/o servicio que se entrega al cliente, por lo que inciden directamente en la satisfacción del cliente final. Generalmente dependen del desempeño de más de una función. Son procesos que valoran los clientes y los accionistas.
- *Procesos de soporte o de apoyo:* Son los que apoyan a los de tipo operativo. Sus clientes son internos. Se suelen referir a procesos relacionados con recursos y mediciones.

La herramienta más representativa para mostrar los procesos identificados y sus interrelaciones es precisamente un **mapa de procesos** que según Beltrán et al., (2002), se define como “la representación gráfica de la estructura de procesos que conforman el sistema de gestión”. En la siguiente figura se ofrece la estructura de un mapa de procesos.



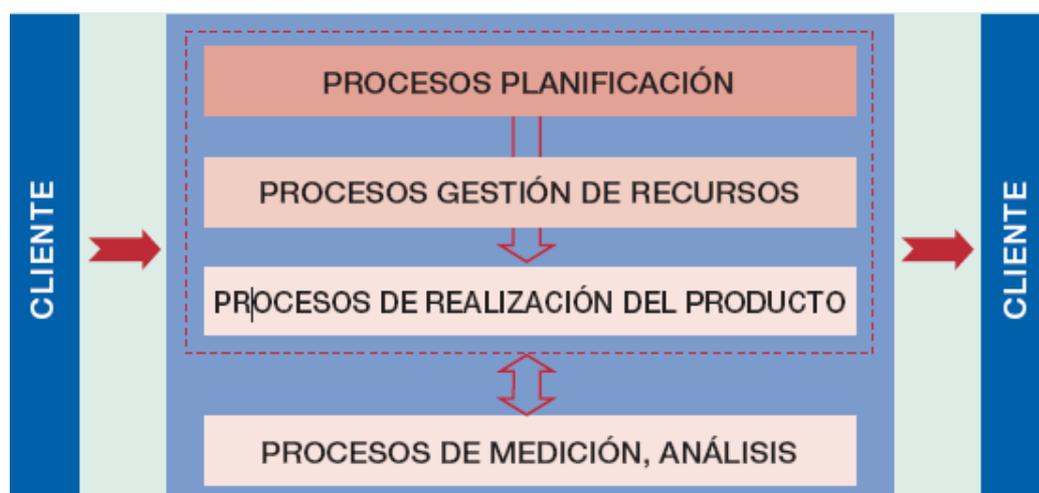
**Figura 1.4. Representación gráfica del mapa de procesos. Fuente: (Villa and Pons, 2006).**

Para la elaboración de un mapa de procesos, y con el fin de facilitar la interpretación del mismo, es necesario reflexionar previamente en las posibles agrupaciones en las que pueden encajar los procesos identificados. La agrupación de los procesos dentro del mapa permite establecer

analogías entre procesos, al tiempo que facilita la interrelación y la interpretación del mapa en su conjunto (Beltrán et al., 2002).

Existen otras formas para agrupar los procesos y además otro tipo de representación gráfica (como se muestra en la figura 1.5), por ejemplo, el autor citado anteriormente los identifica como:

- *Procesos de planificación:* son aquellos que están vinculados al ámbito de las responsabilidades de la dirección.
- *Procesos de gestión de recursos:* son aquellos que permiten, determinar proporcionar y mantener los recursos necesarios (recursos humanos infraestructura y ambiente de trabajo).
- *Procesos de realización del producto:* son aquellos que permiten llevar a cabo, la producción y/o la prestación del servicio.
- *Procesos de medición análisis y mejora:* son aquellos que permiten hacer el seguimiento de los procesos, medirlos, analizarlos y establecer acciones de mejora.



**Figura 1.5. Otra representación gráfica del mapa de procesos. Fuente: (Beltrán et al., 2002).**

Ahora bien, es preciso ganar en claridad, que para utilizar esta herramienta u otra cualquiera es ineludible ampararse en un procedimiento, o serie de pasos a seguir, predeterminados por otros investigadores o elaborado por el autor de la investigación. Con este objetivo en la siguiente sección se analizan procedimientos expuestos por autores de experiencia en el tema.

### 1.4.3 Procedimientos propuestos por diferentes autores para la gestión basada en procesos

Kaoru Ishikawa sin dudas el padre de la revolución Japonesa de la calidad con una contribución incalculable al arsenal de la calidad actual, y sin cuestionamientos uno de los gurús de la filosofía de mejora continua. Ishikawa propone el método sistemático, científico para la mejora de procesos, extremadamente útil y práctico, aspecto común de la mayoría de los enfoques japoneses. Este enfoque sienta las bases para lo que más adelante se convertiría en prácticas obligadas para la mejora de procesos. La necesidad de entender las carencias de los clientes y describir el proceso para luego identificar las oportunidades de mejoramiento, constituye un aspecto fundamental de este modelo si se considera que en el momento en que fue planteado no se reconocían estos aspectos en su totalidad (Hernández, 2010).

El procedimiento propuesto por Lowenthal en 1994 resuelve muchos de los problemas de algunas metodologías existentes: se reconoce la importancia de una correcta planeación de la mejora, se trata con sumo cuidado el impacto en la cultura organizacional y la planeación del cambio en la empresa. Por otro lado, se incluye un amplio paquete de herramientas para la mejora y se proporcionan los medios para su uso adecuado. Por último debe destacarse que se tiene en cuenta la priorización de proyectos de mejora, mediante la selección de procesos críticos de negocio. Sin embargo, este procedimiento está orientado a la mejora de procesos utilizando un enfoque de reingeniería únicamente. Lowenthal no considera la necesaria vinculación de este enfoque con la mejora continua. Aunque quizás se pueda destacar solo este elemento como negativo, es un error bastante costoso en las condiciones actuales del mercado que puede invalidar parcialmente la utilidad de este modelo (Hernández, 2010).

Este procedimiento que enuncia Klein en el año 1994 consta de cinco etapas y 54 pasos, cada una de ellas con las técnicas administrativas a utilizar para el desarrollo y análisis de la información necesaria a fin de identificar oportunidades y rediseñar los procesos básicos, lo que constituye una ventaja del mismo. Tiene como desventaja que está orientado solamente a la reingeniería promoviendo los avances decisivos en lugar de los cambios incrementales y resulta ser además una metodología compleja y extensa lo que presupone una alta preparación del personal y un fuerte soporte de la tecnología y automatización. Se orienta más al rediseño de productos haciendo engorrosa su extrapolación a los servicios (Hernández, 2010).

La metodología expuesta por Rowland en 1996 consta de 9 pasos para el análisis, diagnóstico y rediseño de procesos. Se proponen dos métodos fundamentales para el rediseño de procesos: la hoja en blanco y el rediseño sistemático, haciendo énfasis en la importancia del

rediseño como punto de partida para actuar, obtener una comprensión razonable de los procesos existentes, incluso si se adopta el método de la hoja en blanco. Considera que los equipos no deben tratar de entender ampliamente los procesos actuales sino diseñar nuevos procesos para el futuro. Es una metodología sencilla, de fácil aplicación que conjuga la mejora continua de procesos con la reingeniería, aunque hace énfasis en la segunda (Hernández, 2010).

Shaw en 1997 propone un procedimiento que se basa en la experiencia práctica del autor en el área de la consultoría a empresas en mejoramiento de la producción y servicio a clientes. Como elementos positivos de este procedimiento se pueden destacar su orientación práctica y dirigida hacia la acción. Para el desarrollo de cada paso se proporcionan una serie de recomendaciones concretas que facilitan la aplicación del método. Sin lugar a dudas, las mayores fortalezas de este método se concentran en el paso 1 y 3. La forma en que Shaw propone la descripción y documentación del proceso es muy buena en comparación con las otras metodologías. La inclusión de la herramienta *Process Profile* es otro elemento a destacar, esta herramienta proporciona un medio al equipo para crear una visión integral del proceso que se desea mejorar y facilitar la toma de decisiones. Finalmente, este autor reconoce la importancia de utilizar tanto la mejora continua como la innovación como enfoques de mejora.

Por otro lado la metodología de Shaw llega a ser tan sencilla que puede convertirse en simplista. Este procedimiento padece fundamentalmente de la carencia de vínculo con los planes y objetivos de negocio de la empresa. La etapa para el establecimiento de medidas de desempeño denota la ausencia de una buena cantidad de mediciones claves relativas al desempeño del proceso y el negocio. No se proporciona ninguna opción concreta para llevar a cabo la mejora de las tareas más comunes, suponiendo que el lector debe conocer y manejar dichas herramientas. En sentido general este procedimiento posee poca consistencia técnica, que se evidencia en la carencia de herramientas y demasiada simplificación de los hechos (Hernández, 2010).

Harrington, antiguo presidente de Ernst & Young una de las más prestigiosas firmas de consultoría empresarial en el mundo, propone en el año 1997, un procedimiento organizado en fases. Sin lugar a dudas, esta es el más completo de los modelos revisados. El Dr. Harrington, una autoridad en este tema, propone un procedimiento completo y perfectamente estructurado donde se resume la vasta experiencia internacional de este consultor en el campo del mejoramiento del desempeño organizacional. Las ventajas de este procedimiento son evidentes, y resultarían en un resumen de los principales elementos positivos que debiera tener

cualquier modelo de este tipo. Sencillamente, se incluyen todos los elementos, conceptos, procedimientos y herramientas que constituyen las mejores prácticas en la mejora de procesos. La complejidad del modelo hace que se requiera, en las organizaciones donde se vaya a implementar, un planteamiento estratégico correcto, estructuras flexibles, conocimiento acumulado y personas propensas al cambio. En resumen, una organización en busca de la excelencia. Solamente se pudiera destacar un elemento desfavorable, que en ningún momento llega a afectar la eficacia de este procedimiento: se plantea un fuerte enfoque hacia el cliente externo, pero lo hace apoyándose en conceptos y herramientas tradicionales, que quizás no respondan a las necesidades de algunas empresas (Hernández, 2010).

Juran se ha convertido en el que más ha investigado sobre el tema y el más respetado en el campo de calidad actual. Este análisis quedaría incompleto sin incluir el aporte de Juran en este campo. Pero ese no ha sido la razón de la inclusión, sino sencillamente que el procedimiento PQM (*Process Quality Management*) propuesto por este autor constituye un punto de referencia obligado desde la 5ta edición de su reconocido manual de calidad. Si se compara este procedimiento con los anteriores, puede notarse que Juran aborda excelentemente el proceso de transferencia del nuevo proceso o el proceso rediseñado. Este es un punto que se descuida en otros procedimientos, y que es extremadamente importante. Por otro lado, se aborda adecuadamente la identificación de la voz del cliente y la necesidad de la medición del desempeño del proceso. Otro punto a su favor es que el modelo reconoce la importancia de utilizar enfoques tanto de mejora continua como de reingeniería para desarrollar la mejora del proceso. El procedimiento propuesto por Juran en el 2001 puede considerarse como excelente, simple y a la vez de una alta consistencia técnica. Son pocas las debilidades que se pudieran destacar del modelo propuesto por Juran. Las más significativas a criterio de Hernández (2010) son:

- El rediseño o diseño del proceso se concibe en la fase de planificación, sin embargo, se dedican otras dos fases completas a la transferencia y operación, este aspecto podría provocar que se pierda de vista el objetivo fundamental de la mejora de procesos.
- La fase de operación incluye disciplinas como el control de la calidad del proceso y la mejora del proceso, este punto hace que el modelo sea bastante complejo desde el punto de vista técnico.

El procedimiento para la gestión por procesos propuesto por el Instituto Andaluz de Tecnología se puede aplicar en cualquier sistema de gestión que tome como base el enfoque de procesos, pues lo provee de un mecanismo de actuación sobre los procesos y se encuentra siempre en la

búsqueda de la mejora continua, en cada fase, etapa y actividad, apoyándose para ello en un sistema de técnicas y herramientas integradas con ese fin. Este procedimiento de mejora facilita la adopción de un lenguaje común y universal para la solución de problemas, que es fácilmente comprensible para todos en la organización (Beltrán et al., 2002).

El procedimiento para la gestión por procesos propuesto por Eulalia M. Villa y Ramón Ángel Pons, es el resultado de las experiencias y recomendaciones de prestigiosos autores en esta esfera, tales como: Juran, Cantú y Cosette Ramos. Este procedimiento, ha sido elaborado tomando como referencia el ciclo gerencial básico de Deming y algunos aportes de los enfoques más modernos de mejoramiento de la calidad, tales como el programa Seis Sigmas (Villa and Pons, 2006).

En el marco de la presente investigación se considera conveniente utilizar el procedimiento para la gestión basada en procesos propuesto por Beltrán et al., (2002), puesto que facilita la adopción de un lenguaje común y universal para la solución de problemas. Independientemente que en el desarrollo de sus etapas, se describen un conjunto de herramientas potenciales a ser aplicadas.

Se precisa para la implementación de dicha metodología ganar en claridad sobre aspectos referidos a la organización de la producción, que permitan mediante la aplicación de técnicas y herramientas: mitigar las causas de los problemas fundamentales y eliminar trabajo innecesario en pro de la mejora continua de los procesos.

### **1.5 Organización de la producción (OP)**

La empresa actúa en un medio que le formula cada vez mayores exigencias (en volumen, surtido, calidad y ritmo) ante crecientes restricciones en la estructura y volumen de los recursos. La solución de esta contradicción en la actividad empresarial debe hacerse aplicando la filosofía de que la función de la misma es elevar sistemáticamente el nivel de satisfacción de las exigencias crecientes de la sociedad. Para aplicar esta filosofía la dirección debe desarrollar una elevada iniciativa, creatividad en la búsqueda y aplicación de métodos nuevos para lograr una mayor satisfacción de los requerimientos, incluso en el marco de la disminución de recursos (Acevedo, 2007).

Para el autor anteriormente citado la organización de la producción es: *“...la actividad sistemática del colectivo laboral de la empresa dirigida a garantizar un conjunto de métodos, procedimientos y medidas que aseguren la más racional conjugación cualitativa y cuantitativa*

*de los objetos, medios y fuerza de trabajo, en tiempo y espacio de acuerdo a los requerimientos de los clientes, que garantice la máxima eficiencia, eficacia y competitividad”.*

La efectividad de las medidas, métodos y procedimientos se logra cuando se adopta un criterio de sistema en su formulación y a su vez se hace con la máxima objetividad. La máxima objetividad se logra con un dominio teórico y práctico de las principales bases metodológicas de la organización de la producción, los investigadores Acevedo (2007), Torres y Urquiaga (2007) presentan igualdad de criterios y precisan las mismas como:

**Sujeto de la OP.** Se hace necesario dominar cómo organizar y estimular a todo el colectivo laboral para que actúe como sujeto del perfeccionamiento de la organización de la producción.

**El sistema de producción como objeto de la OP.** Se precisa delimitar cuáles son los elementos del sistema que será objeto de estudio y sus interrelaciones, así como cuál debe ser el tipo de sistema de producción que se debe adoptar de acuerdo a las exigencias del medio. El objeto de la OP es todo el proceso de reproducción de la empresa a lo largo del cual se pueden definir, a su vez, varios sistemas de producción.

**Exigencias técnico-organizativas.** Para desarrollar la OP se hace imprescindible conocer cuáles son las exigencias que le plantea el medio al sistema productivo en cada momento y cuál es la organización interna que debe adoptar el mismo para lograr su máxima satisfacción.

**Principios de la OP.** Expresan las reglas prácticas para adoptar una racional organización interna del sistema productivo y además lograr la máxima eficiencia económica y social en el marco de la máxima satisfacción de las exigencias del medio.

**Los elementos de la OP** en los sistemas de producción tienen un determinado contenido, el cual abarca:

- *Las formas de OP*, las cuales definen la estructuración y características generales del sistema productivo.
- *El método de producción.* Comprende las características promedio más estables que identifican el funcionamiento del proceso que se ejecuta en el marco del sistema productivo.
- *La gestión del flujo material.* Comprende las medidas, métodos y procedimientos que aseguran el cumplimiento de los volúmenes de producción en los surtidos y fechas demandados ante el comportamiento dinámico y estocástico del sistema productivo.

- *La gestión de la calidad.* Comprende las medidas, métodos y procedimientos que aseguran un nivel creciente de calidad del resultado final del sistema de producción y en cada uno de los eslabones del mismo acorde con las exigencias del medio.
- *El sistema de normas.* La estructuración y funcionamiento del sistema de producción de acuerdo al contenido de los cuatro elementos anteriores se refleja en determinadas magnitudes de entradas, salidas e internas del sistema, lo cual se refleja en las normas del sistema de producción, las cuales permiten evaluar el cumplimiento de la organización establecida y constituyen la base para la elaboración de los planes.

**Método de estudio de la OP.** Al abordar el tema se requiere seguir una secuencia de pasos que permitan llegar a la solución más efectiva. Al proyectar el perfeccionamiento de la OP se hace necesario argumentarlo con la eficiencia económica y social del mismo con un criterio de garantizar la eficiencia final del sistema productivo y no de uno de sus elementos, características o variables.

Para que la organización de la producción se logre de manera efectiva en la empresa, es necesario analizar los sistemas productivos de la misma, siendo éstos, el objeto de estudio de la organización de la producción.

### 1.5.1 El sistema productivo (SP) como objeto de estudio de la OP

El término “sistema productivo” Torres y Urquiaga (2007) lo definen como: “...la entidad que está dotada de un sistema de recursos, los que deben ser transformados en determinados resultados, que satisfagan las exigencias y requerimientos de los clientes”. Para lograr dicha transformación los sistemas productivos adoptan determinadas formas en su funcionamiento, conocidas como tipos de sistemas productivos. En la siguiente figura se representa un SP.

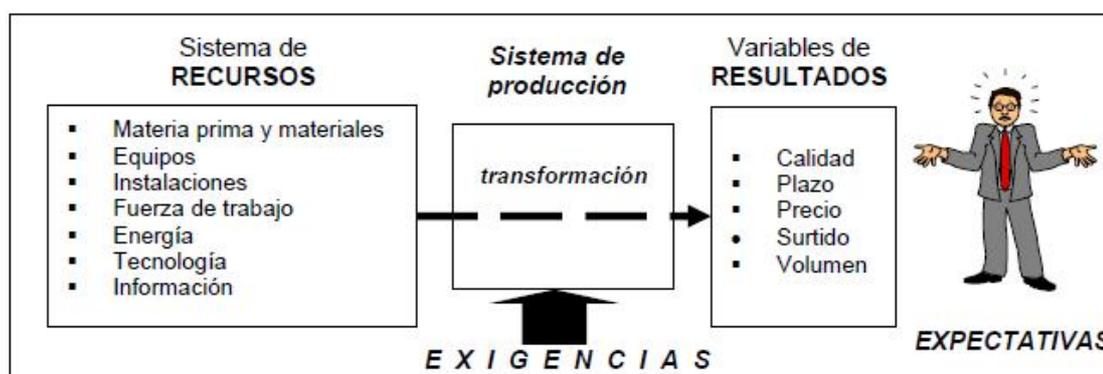


Figura 1.6. Representación de un sistema productivo. Fuente: (Torres and Urquiaga, 2007).

De forma general, el sistema de producción está determinado por la correlación dialéctica entre los factores externos e internos del mismo, siendo fundamentales los primeros. Los factores principales que determinan el tipo de SP se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 1.1. Tabla morfológica de los sistemas de producción. Fuente: (Torres and Urquiaga, 2007).**

Factores externos	Variantes				
	1	2	3	4	5
Relación demanda-capacidad	=1	>1	<1	<<1	
Cantidad de consumidores	uno	poco	muchos		
Comportamiento de la demanda	uniforme	irregular	casuística		
Tendencia del diseño en relación con la moda	muy cambiante	cambios anuales	estables	muy estables	
Situación de las ventas	demanda > capacidad	demanda < capacidad	Demanda = Capacidad		
Factores internos	1	2	3	4	5
Tipo de producción	masiva	gran serie	mediana serie	pequeña serie	unitaria
Duración del ciclo	largo	mediano	corto		
Grado de unificación	alto	medio	bajo		
Precio del artículo	alto	medio	bajo		
Nivel técnico del proceso	mecánico	automático	manual		
Gasto de preparación y ajuste	despreciable	medio	alto	muy alto	
Grado de conservación del producto	producto perecedero	normal	producto no perecedero		
Complejidad del producto	grande	media	poca		
Magnitud de la producción	pequeña	mediana	grande	muy grande	
Medios para realizar el movimiento de materiales	flexibles	especiales			
Calificación promedio relativa de los operarios	alta	media	baja		
Complejidad del mantenimiento a los equipos productivos	normal	alta	muy alta		

Los sistemas se clasifican de acuerdo a tres características: la relación producción-consumo, la forma de ejecutar el proceso productivo y el elemento a optimizar, tal y como se muestra en la tabla 1.2.

**Tabla 1.2. Características de los tipos de sistemas de producción. Fuente: (Acevedo, 2007).**

Característica	Clasificación				
Relación Productor Consumidor	Contra almacén	Entrega directa			
		Con cobertura		Sin cobertura	
Forma de Ejecutar el Pedido	Por ritmo	Programado			Por pedido
		Cantidad fija	Frecuencia fija	Irregular	
Elementos a Optimizar	Utilización de las materias primas	Utilización de las capacidades	Utilización de la fuerza de trabajo	Utilización de los recursos energéticos	Duración del ciclo de producción

La **relación productor-consumidor** tiene dos clasificaciones (Torres and Urquiaga, 2007):

1. **Contra almacén** o contra existencias es cuando el suministro de la producción al almacén se realiza con el propósito de mantener un determinado nivel de inventarios, recibiendo los consumidores sus solicitudes a partir de dichas reservas. Es de bajo costo, no importa a que cliente se le sirve. Para evitar cualquier contingencia en el suministro se acostumbra trabajar con un margen de seguridad en el inventario. Este tipo de sistema de producción presenta determinados inconvenientes al ser aplicados a algunas empresas productivas de bienes de consumo como en el caso de las panificadoras. Es utilizable en artículos estándares, de poco volumen y amplio consumo.
2. **Entrega directa** sí se conoce el cliente. Puede presentarse bajo dos formas:
  - *Entrega directa con cobertura en el ciclo de entrega.* Se manifiesta cuando la producción se logra con una antelación al momento de ser entregada temporalmente hasta llegar al consumidor.
  - *Entrega directa sin cobertura en el ciclo de entrega.* La producción del productor al consumidor sin que medie un almacenaje previo.

De acuerdo a la **forma de ejecutar la producción** el sistema de producción se clasifica (Torres and Urquiaga, 2007):

1. **Por ritmo** cuando la producción se efectúa rítmicamente durante todo el año, o en general ocurren muy pocas afectaciones en el ritmo de la producción. Es utilizable cuando la capacidad de entrega es similar a la capacidad de demanda. Ejemplo: fábrica de refrescos.

2. **Programado** requiere de un conocimiento preciso del nivel de la demanda y de su comportamiento. Este sistema a su vez adopta tres formas:
  - *Programado a cantidad fija.* Se presenta cuando el tamaño del lote es el mismo en cada lanzamiento, es decir es constante y siempre la misma cantidad.
  - *Programado a frecuencia fija.* Se presenta cuando la frecuencia del lanzamiento es constante; pudiendo ser diferente la de cada lanzamiento.
  - *Programado irregular.* Varía tanto la cantidad como la frecuencia de lanzamiento. No se tiene en cuenta ni la cantidad ni el tiempo.
  
3. **Por pedido** se caracteriza por no conocerse con toda exactitud el nivel de la demanda, ni su comportamiento; en general la demanda se presenta durante la propia ejecución del período planificado, ejecutándose por el consumidor la solicitud bajo pedido u orden al productor. La producción por pedido ha sido débilmente considerada en la organización de los SP, por lo cual en los casos en que es necesario se crean retrasos en la satisfacción de las necesidades o incrementos injustificados de los medios de rotación (activos circulantes, producción terminada, producción en proceso, materias primas).

Con respecto al **elemento a optimizar**, el mismo según Torres y Urquiaga (2007), influye decisivamente en el contenido de las funciones de la planificación operativa, por ejemplo, si con vistas de lograr una mayor utilización de la materia prima, se emplean esquemas de corte óptimo. Aunque sin llegar a ser una receta, se cumplen algunas regularidades entre el tipo de sistema de producción y el elemento a optimizar. Si el SP es de entrega directa y por pedido, el ciclo de producción debe ser un aspecto a optimizar (minimizar) en la organización y funcionamiento del SP, aunque puedan existir otros elementos a optimizar de forma casuística como la energía, la fuerza de trabajo, entre otros.

La importancia de la selección de los sistemas productivos conforme a las características estudiadas radica: en que permite organizar el proceso de producción y la realización de las funciones básicas de la planificación. Siendo viable el trabajo con las exigencias que le impone el entorno a la organización (Torres and Urquiaga, 2007).

Para Acevedo (2007) la empresa tiene una exigencia fundamental: *"...lograr la mayor satisfacción de las necesidades crecientes de la sociedad (en volumen, surtido, calidad, fechas y costo) con una adecuada eficiencia, rendimiento y competitividad"*. Esta exigencia fundamental se compone de exigencias de tipo: técnico-organizativas, político-sociales,

económicas, ecológicas, jurídicas. En la siguiente figura se representa de forma resumida, a criterio del autor del presente trabajo, las exigencias que le impone el entorno a la empresa.



**Figura 1.7. Exigencias del entorno. Fuente: Elaboración propia.**

### 1.5.2 Exigencias técnico-organizativas en la organización de la producción

En el presente estudio se enfatizará fundamentalmente en las de tipo técnico-organizativo, las cuales, constituyen un pilar importante en la organización de la producción en cualquier empresa. Las mismas Acevedo (2007) las define como:

**Capacidad de reacción:** debe aumentar cada vez más en una empresa, para asegurar en un plazo dado (cada vez menor) la producción o servicio que se demanda (cada vez más segmentada) en los surtidos, volumen, calidad y costos que se exigen. Esta exigencia a su vez está asociada al plazo en que la empresa reacciona eficientemente ante los cambios de magnitud, calidad y estructura de los recursos. Los indicadores para esta exigencia son:

- Tiempo que media desde que se recibe un pedido hasta que se satisface.
- Grado de satisfacción del pedido en surtido, calidad, costo y volumen.

**Dinámica del rendimiento:** exige que la OP adoptada garantice un crecimiento sistemático de los indicadores de eficacia y eficiencia, así como elevar la creatividad en el contenido de trabajo del obrero y condiciones seguras y apropiadas. Los indicadores de eficiencia y eficacia son: volumen de producción, costo de producción, productividad y plazo de entrega. Esta exigencia se analiza según Torres y Urquiaga (2007) a través de:

- Movilidad o fluctuación de la fuerza de trabajo (lejanía, poco contenido de trabajo, alimentación).
- Grado de accidentalidad.
- Análisis de los indicadores de desempeño: porciento de rentabilidad, costo por peso de producción, productividad, rendimiento de los activos fijos, liquidez y solvencia.

**Flexibilidad:** exige la organización de la empresa de forma tal que los cambios de producción y recursos se realicen en poco tiempo y con bajos gastos.

**Fiabilidad:** exige el funcionamiento de la empresa durante un largo período sin afectaciones en volumen, calidad, surtido, fechas y costos. Como indicador fundamental se tiene la cantidad consecutiva de meses en que se cumplen los planes de producción en volumen, calidad, surtido, plazos y costos.

**Estabilidad:** exige adoptar una organización que permita prever y resolver profilácticamente los problemas que surjan sin necesidad de la intervención de los niveles superiores.

El nivel en que se manifiestan estas exigencias depende: de la situación concreta de la economía nacional, la rama, las características tecnológicas de la empresa, el tipo de producción, la dinámica del progreso científico-técnico, la relación con el comercio exterior y otros factores. El grado en que se cumplen las exigencias que actúan objetivamente, depende del nivel de organización y técnica que se logre (Acevedo, 2007).

Las características principales en niveles extremos se muestran en la tabla 1.3.

**Tabla 1.3. Características para cada nivel extremo de las exigencias técnico-organizativas. Fuente: (Acevedo, 2007).**

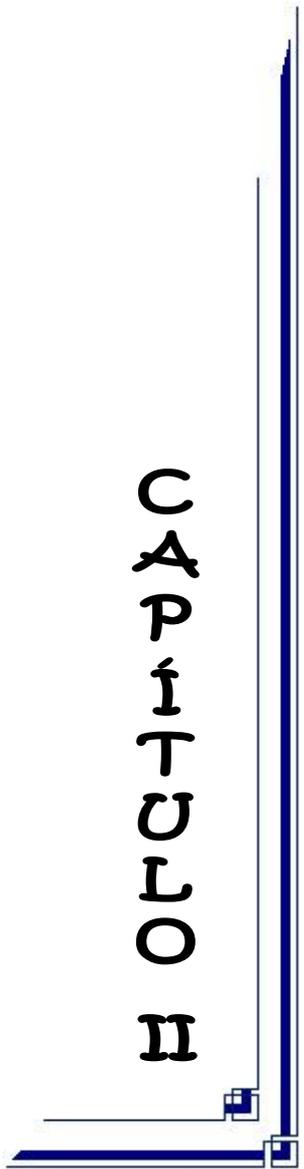
Exigencias	0 %	100 %
<b>Capacidad de Reacción</b>	<p>Gran plazo para un nuevo producto y orden de producción en volumen, costo, calidad y surtido que caracterizan la demanda y/o casi nulo el porciento de perfeccionamiento anual de los surtidos</p> <p>Los cambios de magnitud, calidad y estructura de los recursos afectan casi siempre la producción</p>	<p>Prevé plazos para satisfacer un nuevo producto u orden de producción en volumen, calidad, costo, y surtido y que caracteriza la demanda y/o un elevado porciento de perfeccionamiento anual de los surtidos</p> <p>Los cambios de magnitud, calidad y estructura de los recursos nunca afectan la producción</p>

Exigencias	0 %	100 %
<b>Dinámica de Rendimiento</b>	<p>Estancamiento o deterioro sistemático de los indicadores de eficiencia</p> <p>Alta movilidad y desmotivación de los trabajadores, muchos puestos que son rechazados por los trabajadores</p>	<p>Ritmo elevado de crecimiento de indicadores de eficiencia</p> <p>Alta estabilidad y motivación de los trabajadores. No existen puestos que son rechazados</p>
<b>Flexibilidad</b>	<p>Hay que cambiar el proceso con significativos gastos ante un nuevo pedido</p>	<p>Cambios de productos pero sin modificar el proceso y con pequeño plazo y costo</p>
<b>Fiabilidad</b>	<p>Incumplimientos reiterados y sistemáticos de fechas, volumen, calidad, surtido y/o costos</p>	<p>Cumplimiento durante un largo período del volumen, calidad, surtido, costos y fecha</p>
<b>Estabilidad</b>	<p>Afectaciones constantes del proceso que generan una gran fluctuación de los volúmenes, calidad, costos, surtido y fecha</p>	<p>Cumplimiento sistemático de los volúmenes, fechas, calidad, costos y surtido fijados, previniendo siempre las posibles afectaciones</p>

## Conclusiones parciales del capítulo

1. La contaminación ambiental constituye un problema de gran relevancia en la actualidad. En específico la contaminación por hidrocarburos se identifica como un inconveniente con características especiales de manejo, debido a las afectaciones intrínsecas al medio ambiente y la salud humana.
2. La biorremediación se encuentra entre las tecnologías más utilizadas y aceptadas en la actualidad, para atenuar la contaminación por residuos petrolizados. Esta se ejecuta a través de proyectos de rehabilitación ambiental.
3. La bioaumentación dentro de las técnicas biocorrectivas más utilizadas, ofrece diferentes ventajas, como por ejemplo: reduce el tiempo de respuesta ante un derrame y no afecta el medio ambiente mediante la persistencia de microorganismos; sino que a través de la actividad microbiana añadida, se eliminan los materiales contaminantes liberados al medio, y posteriormente los microbios mueren.
4. Los proyectos de rehabilitación ambiental son concebidos como un macro proceso único, por ello es fundamental para su gestión la adopción del enfoque basado en procesos. Es seleccionado para el estudio el procedimiento propuesto por el Instituto Andaluz de Tecnología, puesto que facilita la adopción de un lenguaje común y universal. Asimismo en el desarrollo de sus etapas, se describen un conjunto de herramientas potenciales a ser aplicadas.
5. Los sistemas de producción constituyen el objeto de estudio de la organización de la producción y son definidos de acuerdo a las exigencias externas que le imponga el medio. Resulta imprescindible identificar cuáles son estas exigencias, y en función de ellas, adoptar la organización interna del sistema productivo, para lograr su máxima satisfacción.

# Π Ο Λ Ο Τ Η Τ Ο Σ C A P I T O L I O



## **CAPÍTULO II: DIAGNÓSTICO ESTRATÉGICO Y ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN**

En el presente capítulo se realiza una caracterización del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC), enfatizándose en el análisis estratégico para una mejor comercialización de sus servicios científico-técnicos. Las prestaciones ejecutadas por el departamento de ingeniería ambiental, hoy día son claves para cumplir los objetivos de la empresa. Se utiliza el procedimiento propuesto por el Instituto Andaluz de Tecnología (Beltrán et al., 2002), para enfocar a procesos los proyectos de rehabilitación ambiental de zonas contaminadas con hidrocarburos. Lo anterior conforma un mecanismo de actuación capaz de influir sobre los mismos, en busca de la mejora continua, lo que se traduce en ventajas competitivas y aumento de la calidad.

### **2.1 Caracterización del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos**

El CEAC comienza en el año 1984 con el nombre de Laboratorio de Control Radiológico Externo. Su misión más importante en esos momentos era el control radiológico y meteorológico del emplazamiento de la futura Central Electronuclear (CEN) de Juraguá.

En el año 1987 pasa a formar parte de una red de laboratorios de control radiológico del país, bajo la dirección de la Secretaría Ejecutiva para Asuntos Nucleares (SEAN). A partir de ese momento cambia sus funciones y se comienza a dedicar a la realización de los estudios de “fondo cero” del emplazamiento de la CEN Juraguá (en esos momentos en construcción), al mantenimiento del control y de la vigilancia radiológica de la zona. A partir del año señalado cambia su nombre por el de Laboratorio de Vigilancia Radiológica Ambiental del Centro (LVRAC).

En el año 1993, pasa a formar parte del recién creado Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). Con el objetivo de unir fuerzas y ahorrar recursos, en noviembre de 1999 se crea, por la Resolución Ministerial número 93/99 del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), el Centro Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC), con la unión de los antiguos Laboratorio de Vigilancia Radiológica Ambiental del Centro y del Laboratorio de Algología, ambas instituciones con un amplio reconocimiento a nivel territorial y nacional. Es una unidad de ciencia y técnica con nuevas misiones y funciones dentro del ministerio.

La misión, visión, así como sus funciones principales se exponen a continuación:

**Misión:** Desarrollar proyectos de investigación y servicios científico-técnicos dirigidos a conocer y contribuir a la solución de los problemas ambientales del territorio. Su actividad fundamental se vincula a la contaminación, gestión e ingeniería ambiental, así como al desarrollo profesional de los recursos humanos.

**Visión:** El Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos es una institución de referencia nacional e internacional que contribuye, con el estudio de procesos, evaluación y solución de conflictos ambientales, a la sostenibilidad de los recursos naturales, a través del uso de técnicas de avanzada, de la excelencia de sus servicios analíticos, académicos, y de innovación tecnológica con una elevada preparación profesional.

Objeto social:

- Diseñar, asesorar y ejecutar proyectos de investigación científica, innovación tecnológica e inversiones en sistemas medio ambientales, en pesos cubanos.
- Brindar servicios científico- técnicos, en pesos cubanos y a personas naturales extranjeras, en pesos convertibles.
- Brindar servicios de asesoría sobre la prevención de la contaminación, el aprovechamiento económico de los residuales, el manejo integrado de los residuos químicos tóxicos y desechos peligrosos, la aplicación de buenas prácticas de higiene industrial, seguridad biológica, el control eficiente de los procesos y la ejecución de medidas internas en las organizaciones productivas, en pesos cubanos.
- Brindar servicios de superación de postgrado estructurados en superación profesional y formación académica, con alcance nacional e internacional, dirigidas a promover la educación permanente de los graduados universitarios en función de su mejor desempeño profesional, en pesos cubanos, y a personas naturales extranjeras, en pesos convertibles.
- Desarrollar eventos científicos-técnicos, talleres, seminarios y encuentros nacionales e internacionales en las temáticas de su competencia, en pesos cubanos y a personas naturales extranjeras, en pesos convertibles.
- Brindar en el extranjero servicios académicos y otros servicios científico-técnicos aprobados en el objeto, en universidades e instituciones afines y en empresas de producción y servicios, a través de la entidad autorizada para ello, en pesos convertibles.
- Brindar servicios de alquiler de áreas y locales temporalmente disponibles para la realización de actividades científico-técnicas, en pesos cubanos.

- Brindar servicios de comedor, cafetería y transportación a sus trabajadores, en pesos cubanos.

La entidad recibe materias primas, productos y/o servicios de un conjunto de proveedores, los cuales se muestran en la tabla 2.1 y brinda los servicios definidos en su objeto social a los clientes que lo soliciten (ver tabla 2.2).

**Tabla 2.1. Principales proveedores del Centro de Estudios Ambientales. Fuente: (Pulido, 2011).**

No.	Proveedores	No.	Proveedores
1	CITMATEL	21	Laboratorio Agroalimentario
2	Empresa Químico-Farmacéutica de Cienfuegos	22	Sucursal CIMEX
3	Gases Industriales	23	Universidad de Cienfuegos
4	Productos Lácteos Escambray	24	Empresa Ejecutora de Donativos
5	GEOCUBA Cienfuegos	25	CUBAENERGIA
6	ITH S.A	26	Empresa Aprovechamiento Hidráulico Cienfuegos.
7	SEISA	27	Oficina Nacional de Normalización
8	Unidad Básica de Servicios Marítimos	28	Grupo Empresarial Marinas Náuticas Marlin S.A.
9	Delegación CITMA	29	Instituto Nacional de Investigación en Metrología
10	Empresa Electroquímica de Sagua	30	Centro Nacional de Biopreparados
11	Empresa Tecnomática	31	SAC LABIOFAM SA
12	Empresa Eléctrica Cienfuegos	32	Cebimar
13	Oficina de Reglamento Ambiental y Seguridad Nuclear	33	EES Empresa SERVICITMA Villa Clara
14	UEB Gases Ciudad Habana	34	Centro de Bioactivos Químicos
15	Agencia de Protección Contra Incendios	35	Suchel Proquimia
16	Empresa Gráfica Cienfuegos	36	Biocen
17	Centro Nacional de Investigaciones Científicas	37	Empresa Frascos Plásticos
18	Empresa Forestal Integral Cienfuegos	38	Empresa Electroquímica de Sagua
19	Instituto Boliviano de Metrología	39	Empresa Provincial de Transporte
20	Centro Nacional del Medio Ambiente	40	Empresa Termoeléctrica Cienfuegos

**Tabla 2.2. Principales clientes del Centro de Estudios Ambientales. Fuente: (Pulido, 2011).**

No.	Clientes	No.	Clientes
1	Inversiones Ganma S.A	16	Industria Alimenticia
2	Empresa Oleohidráulica Cienfuegos	17	EQUIFA Cienfuegos
3	Refinería de Petróleo Cabaiguán	18	Empresa Mixta Cementos Cienfuegos
4	Delegación CITMA Cienfuegos	19	Empresa Comercializadora "La Habana"
5	Servicios Especializados de Protección	20	Empresa Mecánica Vasil Levski
6	Comercializadora de Combustible Cfgos	21	Empresa Termoeléctrica de Cienfuegos

No.	Clientes	No.	Clientes
7	GEOCUBA Estudios Marinos	22	Empresa de Cereales Cienfuegos
8	Organismo Internacional Energía Atómica	23	Empresa Química Cienfuegos
9	Centro Nacional para la Certificación Industrial	24	Empresa Gráfica de Sancti Spiritus
10	CUVENPETROL S.A.	25	CESIGMA S.A.
11	Empresa Provincial de Recuperación de Materia Primas Cienfuegos	26	Empresa Gráfica Cienfuegos
12	Centro de Información y Gestión Tecnológica	27	Centro Provincial de Higiene y Epidemiología (Comunales)
13	Dirección Protección Fitosanitaria Cienfuegos	28	Empresa Acopio, Beneficio y Torcido del Tabaco
14	Empresa para el desove del Camarón	29	CIAC Camagüey
15	Empresa Mixta PDV CUPET S.A	30	ALFICSA S.A

El centro se integra por diferentes áreas, las principales se relacionan a continuación:

- Dirección General
- Dirección Científico-Técnica
- Dirección Económica y de Recursos Humanos
- Departamento de Comercialización
- Departamento de Logística
- Departamento de Gestión Informática
- Departamento de Estudios y Servicios Ambientales (ESA)
- Departamento de Ingeniería Ambiental (IA)
- Departamento de Contaminación Ambiental (CA)

Las tres últimas son claves para el cumplimiento de la misión de la organización, pues:

- El Departamento de Estudios y Servicios Ambientales diseña y asesora la implementación de Programas de Manejo Integrado de Zonas costeras; caracteriza, evalúa e interpreta los procesos que ocurren en los ecosistemas naturales acuáticos y marinos. Realiza el diseño de muestreo de agua y residuales líquidos. Elabora planes de medidas encaminados a mitigar impactos medioambientales. Además, se organizan y dirigen las actividades de docencia que imparte el centro y se establecen las coordinaciones necesarias que permitan la superación de postgrado, las becas y entrenamientos en el país y en el extranjero.
- El Departamento de Ingeniería Ambiental diseña sistemas de tratamiento a residuales y aplica tecnologías ecológicas en el tratamiento a equipamientos, residuales petrolizados y otros, resultantes de la actividad industrial.

➤ El Departamento de Contaminación Ambiental presta servicios de ensayos analíticos y de muestreos a clientes internos y externos de la organización con la calidad requerida, se divide en varias secciones entre las que se encuentran:

- Aguas
- Atmósfera
- Radiometría
- Orgánica

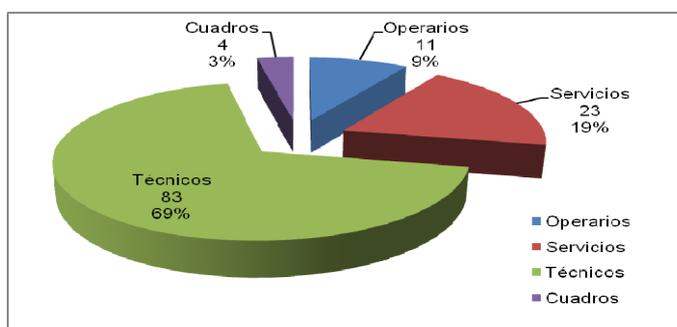
La estructura del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos es representada según el organigrama de la entidad, mostrándose el mismo en el **Anexo 4**.

Su capital humano es de 121 trabajadores con cierre de diciembre de 2011. La cantidad de trabajadores por categorías ocupacionales y por el nivel de escolaridad terminado están referidos en la tabla 2.3.

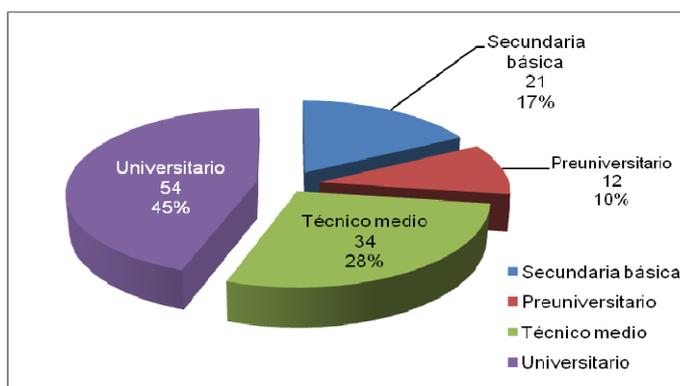
**Tabla 2.3. Representación de los trabajadores de la entidad por categoría ocupacional y nivel de escolaridad. Fuente: Elaboración propia.**

Nivel de escolaridad	Categoría ocupacional								Total	
	Operarios		Servicios		Técnicos		Cuadros		Total	Mujer
	Total	Mujer	Total	Mujer	Total	Mujer	Total	Mujer		
<b>Secundaria básica</b>	9	1	12	2					<b>21</b>	<b>3</b>
<b>Preuniversitario</b>	2		6	1	4				<b>12</b>	<b>1</b>
<b>Técnico medio</b>			5	2	29	16			<b>34</b>	<b>18</b>
<b>Universitario</b>					50	24	4	1	<b>54</b>	<b>25</b>
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>1</b>	<b>23</b>	<b>5</b>	<b>83</b>	<b>40</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>121</b>	<b>47</b>

En las siguientes figuras se representan los porcentajes generales de la empresa por categoría ocupacional y nivel de escolaridad de cada trabajador respectivamente.



**Figura 2.1. Categoría ocupacional en porcentajes del CEAC. Fuente: Elaboración propia.**



**Figura 2.2. Nivel de escolaridad en porcentos del CEAC. Fuente: Elaboración propia.**

## 2.2 Problema estratégico

El CEAC, envuelto en la ola de cambios en el orden económico que se han sucedido en el país a partir del año 2011. Transita de constituir una Unidad de Ciencia y Técnica presupuestada, a una empresa con esquema autofinanciado, en el cual el ingreso por concepto de comercialización de Servicios Científico-Técnicos (SCT) se convierte en el renglón correctivo fundamental para el sustento de la institución. Estos cambios traen como consecuencias que el CITMA reduzca la convocatoria de proyectos presupuestados, a tenor del criterio que las entidades beneficiadas con las investigaciones son las que deben actuar como financistas. Por esta razón, los ingresos a través de proyectos de ciencia sólo representan un por ciento de las finanzas necesarias para el pago de salarios a los trabajadores. En consecuencia, la empresa debe buscar su solvencia en la comercialización de los SCT, que según su objeto social, se le está permitido realizar.

Según el problema descrito, la Dirección del CEAC y una comisión designada de especialistas, se reunieron en varias sesiones para el análisis y discusión de posibles soluciones. A partir de lo cual se realizó un análisis interno y externo de las debilidades, fortalezas, oportunidades y amenazas de la empresa, para crear una efectiva estrategia en la comercialización. En la tabla 2.4 se muestran los factores identificados en el trabajo grupal, a partir de los cuales se elaboró una matriz DAFO.

**Tabla 2.4. Condiciones del CEAC para la comercialización de SCT. Fuente: (Castro, 2010).**

<b>Fortalezas</b>	<b>Debilidades</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Laboratorio Acreditado</li> <li>2. Equipamiento e instrumentación de laboratorio avanzado con personal capacitado</li> <li>3. Sentido de pertenencia</li> <li>4. Alto nivel de los recursos humanos</li> <li>5. Estructura comercial</li> <li>6. Reconocimiento nacional e internacional</li> <li>7. Web del CEAC pública en Internet</li> <li>8. Moderna infraestructura</li> <li>9. Estabilidad del personal</li> <li>10. Capacidades instaladas para la comunicación</li> <li>11. Objeto social definido</li> <li>12. Exclusividad provincial y/o nacional en la prestación de algunos servicios analíticos</li> <li>13. Existencia de convenios de colaboración interinstitucionales</li> <li>14. Registrado el logo, el nombre y el lema del centro</li> <li>15. Centro autorizado para la actividad de postgrado</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Alto coeficiente de gastos indirectos. (1.53)</li> <li>2. El personal productivo tiene baja ocupación en los SCT</li> <li>3. Preparación del personal en la elaboración de fichas técnicas de los SCT</li> <li>4. Baja estimulación y/o reconocimiento a la actividad de los SCT</li> <li>5. Ineficiente sistema de suministros y logísticos para los SCT</li> <li>6. Baja respuesta analítica</li> <li>7. Transportación</li> <li>8. Ineficiente procedimiento para la prestación de SCT</li> <li>9. No existe estudio de mercado y no sabemos hacerlo</li> <li>10. Insuficiente disponibilidad y preparación de los recursos humanos dedicados a la actividad de promoción y reconocimiento de los SCT</li> <li>11. Ineficaces procesos de captación, selección y contratación de personal</li> <li>12. Insuficientes los medios y productos de promoción y divulgación de los SCT</li> <li>13. Baja descripción e identificación de la Carpeta de Servicios que brinda el CEAC</li> <li>14. Ineficaz mecanismo de comunicación interno</li> <li>15. No ser una Unidad de Ciencia y Técnica (UCT) perfeccionada</li> <li>16. No existencia de un Sistema de Gestión de la Calidad en todo el centro</li> <li>17. Insuficiente acceso a información científico-técnica especializada</li> <li>18. Insuficiente preparación del personal para prestar SCT</li> </ol>
<b>Oportunidades</b>	<b>Amenazas</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Participación en eventos y ferias expositivas</li> <li>2. Existencia de mercado nacional e internacional para nuestros servicios</li> <li>3. Proyectos de Ciencia y Técnica en ejecución</li> <li>4. Existencia de un marco regulatorio ambiental en el país</li> <li>5. Posibilidad de convenios de colaboración interinstitucionales</li> <li>6. Política del país encaminada a la ejecución de servicios de ciclos cerrados</li> <li>7. Existen UCT perfeccionadas modelos a seguir</li> <li>8. Existencia de la información en internet</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mecanismo financiero rígido e inadecuado como Unidad Presupuestada para la prestación de SCT</li> <li>2. No aplicabilidad de la Resolución 9 a Unidades Presupuestadas</li> <li>3. Déficit de mercado para la subcontratación de servicios logísticos</li> <li>4. Dispersión geográfica de las sedes del CEAC</li> <li>5. Baja exigencia de los organismos regulatorios del territorio</li> <li>6. Intermediarios para la prestación de SCT en el exterior</li> <li>7. Centralización y rigidez de las importaciones (EMIDICT)</li> <li>8. Baja conectividad a Internet</li> <li>9. Dualidad de monedas en el sistema económico-financiero nacional</li> <li>10. Mal funcionamiento de la Red de Ciencia en Cuba</li> </ol>

La correspondiente matriz de entrecruzamiento se muestra en el **Anexo 5**. En la siguiente tabla se muestran los resultados que arroja dicha matriz por cuadrante.

**Tabla 2.5. Resultados acumulados de la matriz de entrecruzamientos por cuadrante.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Estrategia	Cuadrante	Frecuencia
Adaptativa	D+O	131
Ofensiva	F+O	117
Supervivencia	D+A	107
Defensiva	F+A	30

Como puede observarse en el análisis realizado el CEAC, se encuentra en el cuadrante de Adaptabilidad, donde deben minimizarse las debilidades, apoyándose en las principales fortalezas, para poder aprovechar al máximo las oportunidades del entorno. En este caso se recomiendan estrategias de penetración y desarrollo en los mercados del territorio así como en los polos cercanos. Se deben encaminar los esfuerzos hacia la diferenciación de sus servicios partiendo de las áreas claves para incorporar valores agregados que sean asimilados por el mercado como garantía y confiabilidad.

Por lo tanto se hace necesario una atención especial hacia el cumplimiento de las acciones estratégicas derivadas del análisis anterior, ya que de cumplimentarse oportunamente, la entidad puede transitar hacia el cuadrante de ofensiva. Debe aprovecharse al máximo sus fortalezas principales, propio de una empresa en fase de crecimiento (poco más de una década de fundada).

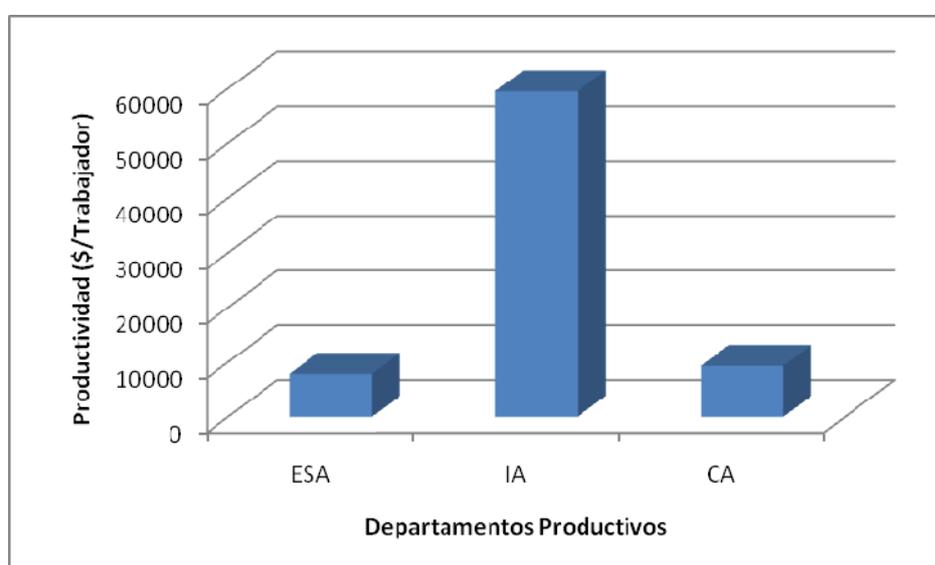
Es válido resaltar que el cuadrante D+A posee 107 puntos, o sea, que de no erradicarse las debilidades, en lugar de aprovecharse las oportunidades, pueden recrudecerse las amenazas. Como reflejo de lo expresado se tiene que el CEAC (al no estar involucrado en el perfeccionamiento empresarial y no poseer un sistema de gestión de la calidad implementado en todos sus departamentos), se clasifica como empresa con atrasos.

A partir de los elementos abordados y con la finalidad de identificar las áreas claves, se analiza la productividad que poseen los departamentos estudiados con respecto al personal de trabajo en cada una de ellos. El objetivo es seleccionar cuál es el adecuado para llevar a cabo acciones estratégicas, se asume que el departamento que más aporte a la empresa por trabajador será el punto de partida. La tabla 2.6 resume los datos para luego representarlos gráficamente.

**Tabla 2.6. Productividad por departamentos. Fuente: Elaboración propia.**

Departamentos	Cantidad Trabajadores	Ingresos año 2011 (MT)	Productividad (MT/trabajador)
ESA	25	196 864.63	7 874.59
IA	4	238 048.69	59 512.17
CA	28	261 412	9 336.14

Como puede apreciarse ESA y CA poseen aproximadamente el 93 % del total de trabajadores directos a la producción, mientras que el departamento de IA con solo el 7 % de los trabajadores directos es el de mayor productividad en cuanto a ingresos/fuerza de trabajo, en el período analizado, como se observa en la figura 2.3.



**Figura 2.3. Productividad por departamentos respecto a la cantidad de trabajadores.**

**Fuente: Elaboración propia.**

Del análisis estratégico se desprende que el departamento de IA es fundamental para generar los ingresos que se necesitan. Ello se explica al constatar que los proyectos gestionados por el joven departamento, con sólo el 7 % de los trabajadores directos del CEAC generan más de la tercera parte de los ingresos de la empresa (según reportes económicos de la entidad correspondientes al año 2011). Asimismo contribuyen considerablemente a los ingresos correspondientes al departamento de CA por conceptos de subcontratación de ensayos de laboratorio y servicios de muestreo. Además, sus servicios se desarrollan en un sector que tiene y prevé crecimientos en el territorio, a partir de la ejecución en él de las obras del polo petroquímico. Conjuntamente a los aspectos económicos abordados, estos proyectos poseen

una significativa importancia en la dimensión ambiental. Consecuentemente los mismos han sido avalados por instituciones regulatorias a nivel nacional e internacional en dicha materia, como es: el Centro de Inspección y Control Ambiental (CICA) y la Sociedad Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal (SOLABIAA).

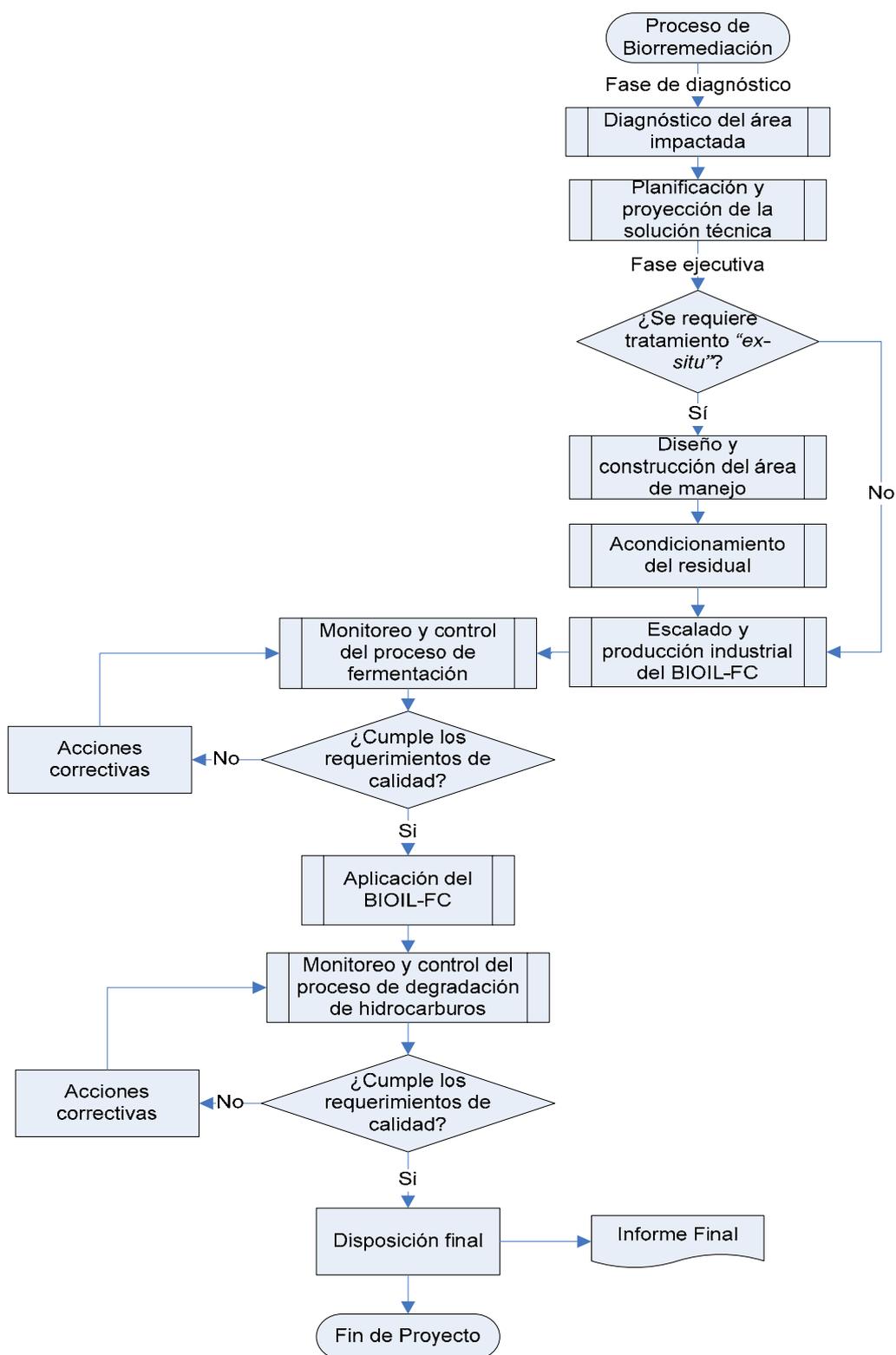
El elemento primordial en la comercialización lo constituye la variable producto. El mismo no es sólo una serie de características físicas y técnicas, sino más bien el conjunto de utilidades que aprecia el cliente en aquello que le ofrece la empresa. En el presente caso, la variable producto que constituye el objeto de estudio son los servicios científico-técnicos de rehabilitación ambiental de zonas contaminadas con hidrocarburos (PRAZCH), ejecutados mediante proyectos. Estos se llevan a cabo introduciendo técnicas de biorremediación. Su ejecución se compone de dos fases fundamentales: de diagnóstico y ejecutiva; las cuales se integran por diferentes subprocesos como se ilustra en la figura 2.4. A pesar de estar definidos de manera general, no están identificadas ni descritas las interrelaciones de estos procesos en un segundo nivel, por lo cual se desconocen sus cruces funcionales.

En el esquema de biorremediación que propone Bermúdez (2012), se combina la técnica de bioaugmentación con la introducción de un bioproducto patentado por CEBIMAR (BIOIL-FC), cuya formulación contiene un cultivo mixto de bacterias marinas con un alto espectro degradador de hidrocarburos, además cuenta con las características que se describen a continuación según (Núñez, 2003):

- Producto líquido de color amarillo, biodegradable y no tóxico, con densidad y viscosidad similar al agua.
- Formado por bacterias no patógenas las que no persisten en el medio ambiente una vez eliminado el petróleo contaminante.
- Amplio espectro degradador en diferentes tipos de petróleos crudos desde los más ligeros hasta los más pesados actuando sobre todas sus fracciones.
- Transforma los compuestos tóxicos del petróleo (petrogénicos) en compuestos orgánicos biodegradables (biogénicos) y no tóxicos, logrando la mineralización completa del crudo (hasta CO<sub>2</sub> y agua) en el sistema tratado.
- Es aplicable a condiciones de mínima concentración de oxígeno.
- Se obtiene a partir de un medio de cultivo formado por nutrientes de grado fertilizante, con una tecnología de acuerdo a los recursos y condiciones disponibles.
- No es un producto almacenable y por tanto su producción es “in situ”.

Este producto es obtenido por vía fermentativa a partir de un medio de cultivo salino con sacarosa al 3% como única fuente de carbono y energía. Para su aplicación a nivel industrial, el proceso de fermentación del producto final, constan de tres escalas fundamentales (Núñez et al., 2011).

- Escala de Zaranda: Se realiza la propagación de los microorganismos utilizando frascos Erlenmeyers tapados con tapones de algodón y gasa, y a través de los cuales ocurre la transferencia de oxígeno por diferencia de concentración entre el aire y el seno del líquido. Estos procesos se realizan en equipos de agitación mecánica.
- Escala de Banco: El cultivo de los microorganismos se realiza en biorreactores con agitación mecánica y adición de aire en el seno del líquido.
- Escala Industrial: Proceso mediante el cual se obtiene grandes cantidades de biomasa bacteriana con fines de aplicación. Estos procesos se realizan en biorreactores, donde predomina la agitación neumática, para disminuir los costos de producción que provoca la agitación mecánica por el consumo de potencia.



**Figura 2.4. Proceso de biorremediación mediante la técnica de bioaumentación con BIOIL-FC. Fuente: (Bermúdez, 2012).**

## 2.3 Diseño metodológico

Todas las observaciones utilizadas en la presente investigación pertenecen al SCT “Biorremediación de Cayo Santa María”, ejecutado por el CEAC en el período transcurrido entre octubre de 2011 y mayo de 2012, con número de contrato CS 41-11. El mismo tuvo como objetivo, la rehabilitación de la contaminación por residuos petrolizados, que se contextualiza brevemente en el **Anexo 6**.

**Tipo de estudio:** Observacional, descriptivo y transversal, que admite la correlación de variables.

### 2.3.1 Definición de variables

Variable independiente:

- Intervención con el enfoque basado en procesos, en los proyectos de rehabilitación ambiental de zonas contaminadas con hidrocarburos

Variable dependiente:

- Mejora en la gestión de la calidad de los proyectos de rehabilitación ambiental de zonas contaminadas con hidrocarburos

### 2.3.2 Conceptualización y operacionalización de las variables

Para una mejor comprensión de este subepígrafe, se ofrece la siguiente tabla que sintetiza la información de interés.

**Tabla 2.7. Conceptualización y operacionalización de las variables**

Variable	Definición	Escala
Intervención con el enfoque basado en procesos en los PRAZCH	Comprende la ejecución de una serie de etapas para identificar, describir, medir y mejorar los procesos que componen un PRAZCH	Se implementa a partir de la aplicación del procedimiento descrito en Beltrán et al., (2002) dividido en los tres pasos siguientes: <b>1. Organización de los PRAZCH</b> Se mide según las cuatro categorías siguientes: <u>Excelente:</u> cuando se cuente con el mapa general de procesos para los PRAZCH, los cruces funcionales para la ejecución de los mismos; además estén descritas las actividades y características de los procesos seleccionados como críticos <u>Aceptable:</u> cuando se incumpla solo una de las condiciones de la categoría excelente <u>Insuficiente:</u> cuando se incumplan dos de las condiciones de la categoría excelente <u>Deficiente:</u> cuando se incumplan más de dos de las condiciones de la categoría excelente

Variable	Definición	Escala
		<p><b>2. Seguimiento de los PRAZCH</b>                      Se determinan las “exigencias técnico-organizativas” del sistema productivo  <b>Las exigencias técnico-organizativas</b> se clasifican según las siguientes categorías:  <u>Excelente:</u> cuando se encuentran en rangos conformes, la totalidad de las exigencias determinadas  <u>Aceptable:</u> cuando solo una de las exigencias se encuentra en un estado de no conformidad. Se requieren cambios para mejorar la no conformidad  <u>Deficiente:</u> dos o más exigencias no conformes. Sistema no adecuado para el trabajo. Se requieren transformaciones profundas</p> <p><b>3. Control de los PRAZCH</b>                      Su implementación depende de la aplicación de los “ocho pasos en la solución de problemas” descrito en Gutiérrez y de la Vara (2004). Se mide a partir de las <b>dimensiones factibilidad y viabilidad</b> conjugadas a continuación:  <u>Ejecutable:</u> cuando la propuesta de mejora es <i>factible y viable</i>. Esta ofrece resultados técnicos y económicos satisfactorios, además está al alcance de las posibilidades de la entidad en el mediano plazo (3 años) y sostenible desde la perspectiva ambiental  <u>Rechazable tipo 1:</u> <i>Factible y no viable</i>. Ofrece resultados técnicos y económicos satisfactorios. Pero la ejecución de la propuesta está fuera del alcance de la entidad en el mediano plazo y/o no es sostenible desde la perspectiva ambiental  <u>Rechazable tipo 2:</u> <i>No factible y viable</i>. La propuesta es ejecutable y/o sostenible. Pero los resultados técnicos y económicos no son satisfactorios  <u>Inadecuada:</u> <i>No factible y no viable</i>. No se obtienen mejoras técnicas ni económicas, y además la propuesta no es ejecutable en el mediano plazo ni ejecutable</p>
Mejora en la gestión de la calidad de los PRAZCH	Es la categoría con que se define, el incremento de las potencialidades de los procesos, para cumplir con requerimientos deseados	<p><u>Mejorada:</u> cuando se cumple al menos una de las condiciones siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Disminuidos los costos</li> <li>➤ Optimizados los recursos</li> <li>➤ Disminuidos los tiempos de las operaciones</li> <li>➤ Aumentada la satisfacción de los clientes</li> </ul> <p><u>No mejorada:</u> cuando se incumplen todas las condiciones anteriores.</p>

Luego de tener la idea general sobre la estructura de un proyecto de biorremediación, es preciso adoptar la gestión basada en procesos, como principio fundamental para administrar los mismos.

#### 2.4 Procedimiento para enfocar a procesos los PRAZCH gestionados por el departamento de IA

A continuación se describen las etapas del procedimiento adoptado en esta investigación. Se recomiendan además algunas herramientas a aplicar en las mismas.

## Etapa I: Identificación y secuenciación de los procesos

Tiene como objetivo fundamental identificar los procesos de la división. La misma se desglosa en las siguientes actividades:

1. Reflexionar sobre cuáles son los procesos que deben configurar el sistema de gestión y sus actividades, además de su influencia y orientación hacia la consecución de los resultados.
2. Identificar y seleccionar los procesos que forman parte de la estructura del sistema.
3. Agrupar los procesos según el criterio de clasificación.
4. Representar gráficamente la estructura de procesos que conforman el sistema de gestión mediante un mapa de procesos.

En esta primera etapa se utilizan las siguientes herramientas de trabajo de grupo: lluvia de ideas, diagrama de afinidad, (con la finalidad de conformar el mapa general de procesos), diagrama de cruce funcional y el método de expertos, las mismas se describen a continuación.

Lluvia de ideas (*Brainstorming*): es una técnica de grupo para generar ideas originales en un ambiente relajado. Esta herramienta se utiliza cuando la búsqueda de ideas creativas, resulta en un proceso interactivo de grupo no estructurado, que genera más y mejores ideas que las que los individuos pueden producir trabajando de forma independiente (Calidad, 2000).

Diagrama de afinidad: es la forma de organizar la información reunida en sesiones de Lluvia de Ideas. Está diseñado para reunir hechos, opiniones e ideas sobre áreas que se encuentran en un estado de desorganización. Este ayuda a agrupar aquellos elementos que están relacionados de forma natural. Como resultado, cada grupo se une alrededor de un tema o concepto clave. El uso de un Diagrama de Afinidad es un proceso creativo que produce consenso por medio de la clasificación que hace el equipo en vez de una discusión (Calidad, 2000).

Método de Delphi: está basado en la utilización sistemática e iterativa de juicios de opinión de un grupo de expertos hasta llegar a un acuerdo. En este proceso se trata de evitar la influencia de equipos o grupos dominantes y que al mismo tiempo exista retroalimentación de forma que se facilite el acuerdo final. En esta investigación se escogen especialistas de las dos entidades que realizan este tipo de proyectos de rehabilitación (CEBIMAR y CEAC). Los mismos se seleccionan de acuerdo a criterios de competencia, creatividad, disposición a participar, experiencia científica y profesional en el tema, capacidad de análisis, pensamiento lógico y espíritu de trabajo en equipo. Se tiene en cuenta una escala ordinal del 1 al 8, en la cual el

número 1 representa el proceso de mayor prioridad a mejorarse, por suponerse crítico con respecto a niveles de calidad. El número 8 el de menor importancia en cuanto a la prioridad a investigar.

Es necesario aclarar que se prefiere el mapa de procesos que se ilustra en la figura 1.5 del capítulo I de la presente investigación, por ajustarse mejor a las características de los proyectos de rehabilitación ambiental.

## **Etapa II: Descripción de cada uno de los procesos**

Esta etapa consiste en describir las actividades y características de cada uno de los procesos identificados. Teniendo en cuenta que los procesos tienen al menos tres versiones: cómo se imagina que son, cómo realmente son y cómo deberían ser.

Para su desarrollo se ejecutan dos actividades fundamentales:

1. *Descripción de las actividades del proceso.* Para llevar a cabo esta actividad debe dársele respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es la naturaleza del proceso?
- ¿Para qué sirve?
- ¿Qué actividades se realizan?
- ¿Quién realiza las actividades?
- ¿Cómo se realizan las actividades?

2. *Descripción de las características del proceso.* De la misma forma que en la actividad anterior debe dársele respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Cómo es el proceso?
- ¿Cuál es su propósito?
- ¿Cómo se relaciona con el resto?
- ¿Cuáles son sus entradas y salidas?
- ¿Cuáles son sus proveedores y clientes?
- ¿Cuáles son los requisitos de los clientes, proveedores?

Para facilitar el trabajo en la presente etapa se proponen las siguientes herramientas y métodos: dinámicas de equipos de trabajo, documentación del proceso (diagrama de flujo, SIPOC y ficha de proceso), determinación del tipo de producción así como la clasificación y caracterización de sistemas productivos.

Diagrama de flujo: es una representación pictórica de los pasos en un proceso, útil para determinar cómo funciona realmente el proceso para producir un resultado. El resultado puede ser un producto, un servicio, información o una combinación de los tres. Estos diagramas se pueden aplicar a cualquier aspecto del proceso desde el flujo de materiales hasta los pasos para hacer la venta u ofrecer un producto. Con frecuencia el nivel de detalle no es necesario, pero cuando se necesita, el equipo completo normalmente desarrolla una versión de arriba hacia abajo; luego grupos de trabajo más pequeños pueden agregar niveles de detalle según sea necesario durante el proyecto (Calidad, 2000).

SIPOC: consiste en un tipo de diagrama que agrupa la información acerca de los suministradores, entradas, salidas, clientes la descripción del proceso y también engloba los requerimientos del mismo. La sigla SIPOC responde a cada una de las letras iniciales de los elementos abordados en idioma inglés.

Ficha de proceso: Se puede considerar como un soporte de información que pretende recabar todas aquellas características relevantes para el control de las actividades definidas en el diagrama, así como para la gestión del proceso. La información a incluir dentro una ficha de proceso puede ser diversa y deberá ser decidida por la propia organización, si bien parece obvio que, al menos, debería ser la necesaria para permitir la gestión del mismo (Beltrán et al., 2002). En el **Anexo 7** se propone un modelo predeterminado que se adapta al objeto de estudio.

Determinación del tipo de producción: se obtiene a partir del método de “frecuencia de producción” descrito por (Medina et al., 2002), a continuación se muestran sus ecuaciones de cálculo y en una tabla resumen para la decisión.

### Fórmulas

$$P_z = \frac{P * 100}{100 - p}$$

$$PE = \frac{FT}{P_z}$$

$$\frac{T}{PE}$$

$$\frac{t_{MÁX}}{PE}$$

$$\frac{t_{MED}}{PE}$$

Donde:

T: tiempo total de producción

t<sub>máx</sub>: tiempo promedio de la operación de mayor duración

t<sub>med</sub>: tiempo promedio de un lote

P: volumen de producción requerido

p: por ciento de desperdicios

FT: fondo de tiempo disponible

P<sub>z</sub>: volumen de producción recalculado

**Tabla 2.8. Decisión para determinar el tipo de producción. Fuente: (Medina et al., 2002).**

Tipo de producción	Relación de PE con		
	T	$t_{m\acute{a}x}$	$t_{med}$
<b>Unitaria</b>	$T/PE = 0$	-	-
<b>Pequeña serie</b>	$T/PE < 1$	-	-
<b>Mediana serie</b>	$T/PE \geq 1$	$t_{m\acute{a}x}/PE < 1$	-
<b>Gran serie</b>	$T/PE > 1$	$t_{m\acute{a}x}/PE \geq 1$	$t_{med}/PE < 1$
<b>Masiva</b>	$T/PE > 1$	$t_{m\acute{a}x}/PE > 1$	$t_{med}/PE \geq 1$

### **Etapas III: Seguimiento y medición de los procesos**

Esta etapa persigue el seguimiento y la medición de los procesos, para conocer sus características, evolución, problemas existentes y tomar acciones cuando existen desviaciones. Para lograr el objetivo se realiza un análisis de las exigencias técnico-organizativas en el proceso a estudiar, contribuyendo lo anterior a alcanzar una mejor organización de la producción. Para ello de manera general se siguen los siguientes pasos:

1. Determinar los indicadores de cada uno de los procesos
2. Formalizar los indicadores mediante el soporte más conveniente
3. Determinar las variables de control para cada indicador
4. Evaluar los indicadores del proceso
5. Comparar los resultados del proceso con los resultados esperados
6. Analizar los datos recopilados con el fin de conocer las características y la evolución de los procesos
7. Tomar acciones cuando existan desviaciones

Del análisis de los datos se debe obtener la información relevante para conocer:

- ¿Qué procesos no alcanzan los resultados planificados?
- ¿Dónde existen oportunidades de mejora?

Como herramientas fundamentales se proponen las siguientes: entrevistas, hoja de chequeo, diagrama de Pareto, técnicas estadísticas (pruebas paramétricas y no paramétricas), determinación de exigencias técnico-organizativas.

Hoja de chequeo: es una herramienta para recolectar y registrar datos. Es utilizada para registrar eventos que ya han ocurrido. Los tipos de datos que pueden ser rastreados con una hoja de chequeo son: número de veces que algo ocurre; tiempo que se toma para hacer algo y costo de cierta operación durante un período de tiempo (Calidad, 2000).

Diagrama de Pareto: es una técnica que separa los “pocos vitales” de los “muchos triviales”. Una gráfica Pareto es utilizada para separar gráficamente los aspectos significativos de un problema desde los triviales de manera que un equipo sepa dónde dirigir sus esfuerzos para mejorar. Reducir los problemas más significativos (las barras más largas en la gráfica) servirá más para una mejora general que reducir los más pequeños. Con frecuencia, un aspecto tendrá el 80 % de los problemas (Calidad, 2000).

#### **Técnicas estadísticas:**

Prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov (K-S): Es utilizada para corroborar el supuesto de normalidad, esta prueba es recomendada para muestras menores o iguales que 30. Se utiliza una significación estadística de  $\alpha = 0.05$ , la que es comparada con un valor-P para la decisión de las hipótesis. Cuando  $\text{valor-P} \leq \alpha$  se rechaza la hipótesis nula de lo contrario, esta es aceptada.

- Hipótesis Nula: los datos son muestras independientes de la distribución especificada
- Hipótesis Alternativa: los datos no son muestras independientes de la distribución especificada

Pruebas de aleatoriedad: Son realizadas tres pruebas para determinar si las observaciones siguen una secuencia aleatoria de números, o no. Se utiliza una significación estadística de  $\alpha = 0.05$ , la que es comparada con un valor-P para la decisión de las hipótesis. Cuando  $\text{valor-P} \leq \alpha$  se rechaza la hipótesis nula de lo contrario, esta es aceptada.

- Hipótesis Nula: La serie de datos es aleatoria
- Hipótesis Alternativa: la serie de datos no es aleatoria

La prueba de “**corridas arriba y abajo**” cuenta el número de veces que la secuencia está arriba o abajo de la mediana. Compara un valor-P con  $\alpha$ .

La prueba “**corridas arriba o abajo de la mediana**” cuenta el número de veces que la secuencia ascendió o descendió.

La prueba “**Box-Pierce**” está basada en la suma de cuadrados de los primeros 24 coeficientes de autocorrelación.

#### **Etapa IV: Mejora de los procesos**

Esta última etapa tiene como objetivo gestionar la mejora para que los procesos avancen hacia niveles de eficacia y eficiencia deseados, la misma se sustenta en la implementación de una

metodología que resuelva problemas recurrentes y crónicos en cualquier proceso. Para alcanzar las metas previstas el grupo de trabajo decide adoptar el método de los *ocho pasos en la solución de problemas*. Esta metodología puede aplicarse una vez que se ha caracterizado el estado de un proceso o cuando ya se tiene delimitado y cuantificado un problema o un área de oportunidad (Gutiérrez and de la Vara, 2004).

Para los autores citados anteriormente la filosofía de este ciclo lo hace de gran utilidad para perseguir la mejora en cualquier etapa, y es imprescindible aplicarlo para resolver los problemas de un proceso. El ciclo PHVA se divide en ocho pasos, que se describen y se sintetizan en la tabla 2.9.

**Tabla 2.9. Metodología para la solución de problemas. Fuente: (Gutiérrez and de la Vara, 2004).**

Ciclo PHVA	Pasos	Nombre y breve descripción del paso
<b>Planear</b>	1.	<i>Seleccionar y caracterizar un problema:</i> elegir un problema realmente importante, delimitarlo y describirlo, estudiar antecedente e importancia, y cuantificar su magnitud actual
	2.	<i>Buscar todas las posibles causas:</i> (Lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa). Participan los involucrados
	3.	<i>Investigar cuales de las causas son más importantes:</i> recurrir a datos, análisis y conocimiento del problema
	4.	<i>Elaborar un plan de medidas enfocado a remediar las causas más importantes:</i> para cada acción detallar en qué consiste, su objetivo y como implementarla; responsables, fechas y costos
<b>Hacer</b>	5.	<i>Instaurar las medidas remedio:</i> seguir el plan y empezar a pequeña escala
<b>Verificar</b>	6.	<i>Revisar los resultados obtenidos:</i> comparar el problema antes y después
<b>Actuar</b>	7.	<i>Prevenir la recurrencia:</i> si las acciones dieron resultado, éstas deben generalizarse y estandarizar su aplicación. Establecer medidas para evitar recurrencia
	8.	<i>Conclusión y evaluación de lo hecho:</i> evaluar todo lo hecho anteriormente y documentarlo

### Principales herramientas:

Diagrama Causa-Efecto: Es utilizado para identificar posibles causas de los problemas detectados. Se utiliza por su efectividad para estudiar procesos y por su facilidad para sintetizar gran cantidad de información. Se escoge el método de las “6M’s” (Gutiérrez and de la Vara, 2004).

AMEF: La metodología del análisis de modo y efecto de la fallas, proporciona la orientación y los pasos a seguir para investigar las fallas potenciales más importantes de un producto o un proceso, junto con el efecto que provocan estas. A partir de lo anterior, son establecidas prioridades y decididas las acciones para eliminar o reducir la probabilidad de que ocurran las fallas potenciales que mas vulneran la confiabilidad del producto o el proceso (Gutiérrez and de la Vara, 2004).

Simulación: Es una herramienta que permite construir de manera gráfica, el modelo del sistema o proceso a estudiar. Una vez realizado el organigrama del sistema, se introducen los datos de dichos módulos y se ejecuta la simulación.

PRIp: Se define como período recuperación de la inversión promedio, es una técnica estática de evaluación de inversiones y responde a la siguiente ecuación según Cabrera y Mata (2011):

$$PRIp = \frac{\text{Inversión Neta}}{FC} \quad \text{donde: FC: flujo de caja promedio.}$$

**Pruebas de hipótesis no paramétricas para comparación de media:** Se utiliza una significación estadística de  $\alpha = 0.05$ , la que es comparada con un valor-P para la decisión de las hipótesis. Cuando  $\text{valor-P} \leq \alpha$  se rechaza la hipótesis nula de lo contrario, esta es aceptada.

Prueba-t: Las hipótesis comparan la media de una población contra un valor de contraste, en dependencia de los intereses de la investigación.

Prueba de los signos: Las hipótesis comparan la mediana de una población contra un valor de contraste, en dependencia de los intereses de la investigación. Se basa en contar el número de valores arriba y abajo de la mediana hipotética.

Prueba de rangos con signo: Las hipótesis comparan la mediana de una población contra un valor de contraste, en dependencia de los intereses de la investigación. Se basa en comparar los rangos promedio de los valores arriba y abajo de la mediana hipotética. La prueba del signo y la del signo con rango son menos sensibles a la presencia de valores aberrantes pero son un

tanto menos potentes que la prueba-t si todos los datos provienen de la misma distribución normal.

A manera de resumen en la tabla 2.10 se muestra el procedimiento seleccionado en la presente investigación de forma sintetizada.

**Tabla 2.10. Síntesis del procedimiento seleccionado para el enfoque de gestión basado en procesos. Fuente: Elaboración propia.**

Etapas	Actividades	Herramientas
I <sup>a</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Reflexionar sobre cuáles son los procesos que deben configurar el sistema de gestión y sus actividades, además de su influencia y orientación hacia la consecución de los resultados</li> <li>➤ Identificar y seleccionar los procesos que forman parte de la estructura del sistema</li> <li>➤ Agrupar los procesos según el criterio de clasificación</li> <li>➤ Representar gráficamente la estructura de procesos que conforman el sistema de gestión mediante un mapa de procesos a partir del criterio adoptado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Lluvia de ideas</li> <li>▪ Diagrama de afinidad</li> <li>▪ Método de expertos</li> <li>▪ Diagrama de cruce funcional</li> </ul>
II <sup>a</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Descripción de las actividades del proceso</li> <li>➤ Descripción de las características del proceso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dinámicas de equipos de trabajo</li> <li>▪ Documentación del proceso</li> <li>▪ Método “frecuencia de producción”</li> </ul>
III <sup>a</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Determinar los indicadores del proceso</li> <li>➤ Formalizar los indicadores</li> <li>➤ Determinar las variables de control para cada indicador</li> <li>➤ Evaluar los indicadores del proceso</li> <li>➤ Comparar los resultados del proceso con los resultados esperados</li> <li>➤ Analizar los datos recopilados</li> <li>➤ Tomar acciones cuando existan desviaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hoja de chequeo</li> <li>▪ Técnicas estadísticas</li> <li>▪ Determinación de exigencias técnico-organizativas</li> </ul>
IV <sup>a</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Aplicar 8 pasos en la solución de problemas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diagrama Causas-Efecto</li> <li>▪ AMEF</li> <li>▪ 5W2H y plan de control</li> <li>▪ Pruebas de hipótesis no paramétricas</li> <li>▪ Simulación</li> <li>▪ Período de Recuperación de la Inversión promedio</li> </ul>

### **Conclusiones parciales del capítulo**

1. Se realizó una reseña histórica y breve caracterización del Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos, especificando su misión, visión, objeto social, estructura organizacional y la fuerza de trabajo con que cuenta actualmente.
2. El departamento de Ingeniería Ambiental resultó desde la perspectiva estratégica, como potencial para la generación de ingresos, a través de los proyectos de rehabilitación ambiental de zonas contaminadas con hidrocarburos.
3. Se describe el procedimiento de Beltrán et al., (2002), para enfocar a procesos, los proyectos de rehabilitación ambiental de zonas contaminadas con hidrocarburos.

# III OTCUTPAC

## CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos tras la implementación del procedimiento propuesto. Se identifican todos los procesos de los proyectos objeto de estudio. De acuerdo a la concordancia en las opiniones de los expertos consultados, se describen los procesos que de manera más crítica afectan la calidad. Posteriormente, se analizan estos procesos como un sistema productivo, determinándose sus exigencias técnico-organizativas. Finalmente se desarrolla un proyecto para mejorar estándares de calidad y contribuir a las producciones más limpias.

### 3.1 Aplicación del procedimiento

A continuación se exponen los resultados de la aplicación del procedimiento descrito en los métodos de esta investigación. Cada una de sus etapas se corresponde con el cumplimiento de un objetivo específico del presente estudio.

#### **Etapas I: Identificación y secuenciación de los procesos**

En esta etapa se representa la red de elementos que interactúan para lograr los fines del sistema. Se definen los macro procesos que a su vez están formados por procesos y subprocesos. Se agrupan atendiendo a su afinidad de acuerdo a las categorías precisadas, según el mapa de procesos adoptado (ver figura 3.1). En el presente estudio se realiza una consulta a expertos, dado que, hay criterios de que existen procesos que por sus características deben ser priorizados en su análisis. En el **Anexo 8** se muestran los cálculos referentes al método Delphi. El mismo arrojó, que los procesos que se deben tener en cuenta para el estudio, según el orden de prioridad son:

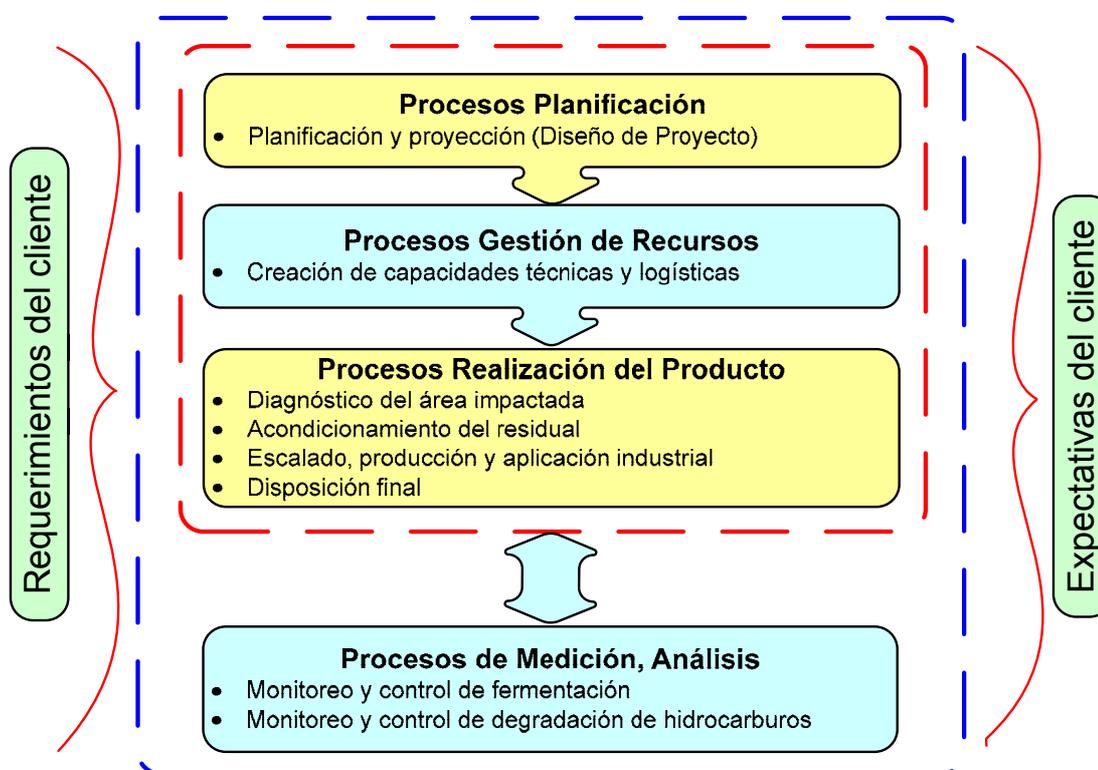
- Escalado, producción y aplicación industrial
- Monitoreo y control de fermentación

La decisión anterior está dada, porque son los que presentan menor media de rangos, o lo que es igual, son los más críticos con respecto a los niveles de calidad con que se trabaja en ellos, por tanto son priorizados en la investigación en curso.

Dado que los mismos se llevan a cabo en una misma fase de los proyectos de rehabilitación, conocida como campaña de biorremediación, se considera oportuno homogeneizarlos en su análisis como un sistema productivo, a fin de entenderlo y mejorarlo como tal.

En la etapa II se describen los procesos seleccionados. Mientras que en el **Anexo 9** se muestra

el diagrama de cruce funcional para la ejecución de un PRAZCH.



**Figura 3.1. Mapa general de procesos, para la ejecución de un proyecto de rehabilitación ambiental. Fuente: Elaboración propia.**

### Etapa II: Descripción del proceso seleccionado

En el **Anexo 10** se representa la planta de producción montada en cada campaña de biorremediación, para entender mejor su funcionamiento. Después de observar el esquema referido anteriormente; se clasifica el sistema productivo como enfocado al producto, debido a que las instalaciones, se ubican siguiendo el proceso de las materias primas y del producto. En la tabla siguiente se ofrece una clasificación según los criterios de Acevedo (2007).

**Tabla 3.1. Clasificación del sistema productivo. Fuente: Elaboración propia.**

Clasificación del sistema de producción	
Relación Productor–Consumidor	Entrega Directa con cobertura en el ciclo de entrega
Forma de Ejecutar la producción	Programado (Irregular)
Elemento a Optimizar	Capacidades técnicas

Las observaciones fueron tomadas cronometrando cada una de las operaciones de la campaña de biorremediación “Cayo Santa María” (ver hoja de chequeo en el **Anexo 11**). A partir de estos datos se realiza el grueso de los análisis de esta investigación. Los supuestos correspondientes a los mismos, serán corroborados en los anexos que a continuación se detallan.

### Determinación del tipo de producción

Con la contextualización al caso de estudio de las variables siguientes se determina el tipo de producción correspondiente a mediana serie.

T: tiempo total de producción de 97 m<sup>3</sup> de BIOIL-FC (44.92 horas).

t<sub>máx</sub>: tiempo promedio de la operación de mayor duración (fermentación, según **Anexo 12**).

t<sub>med</sub>: tiempo promedio de un lote de bioproducto en horas (ver **Anexo 13**).

P: volumen de producción requerido (97 m<sup>3</sup>).

p: porciento de desperdicios (0.72 %, para el caso estudiado, según datos recopilados).

FT: fondo de tiempo disponible.

P<sub>z</sub>: volumen de producción recalculado.

Los resultados cuantitativos se ajustan a la descripción cualitativa para la categoría expuesta por Medina et al., (2002), ya que la producción se caracteriza por una nomenclatura limitada de artículos elaborados periódicamente, por lotes que se repiten.

Una vez determinado el tipo de producción, se desprende la caracterización del sistema productivo, que se realiza a partir del análisis de los factores internos y externos que lo definen, partiendo de las consideraciones dadas por Torres y Urquiaga (2007), como se muestra en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2. Caracterización del sistema productivo. Fuente: Elaboración propia.**

Factores Externos	
Relación demanda-capacidad	La demanda en estos momentos es menor que la capacidad
Cantidad de consumidores	Un solo consumidor, cliente ambiental zona contaminada con residuos petrolizados
Comportamiento de la demanda	Comportamiento irregular o aleatorio debido a que existen múltiples causas que condicionan la contaminación por hidrocarburos
Tendencia del diseño en relación con la demanda	Cambiante ya que depende de la carga contaminante en cada zona impactada y de los recursos disponibles por el generador de la contaminación
Situación de las ventas	Tiene un destino de mercado específico, constituido por empresas que trabajen con la extracción, trasiego, operación y procesado de hidrocarburos y sus derivados

Factores Internos	
Tipo de producción	Mediana serie
Duración del ciclo de producción	La duración del ciclo de producción es mediano, tiene una duración de alrededor de una semana
Precio del artículo	Medio con respecto al mercado nacional y bajo frente a alternativas de competidores internacionales
Nivel técnico del proceso	Es un proceso mecánico
Gasto de preparación y ajuste	El gasto de preparación y ajuste es medio
Conservación del producto	Fácil descomposición
Complejidad del producto	Complejidad media del producto, utiliza materias primas nacionales de producción industrial de adquisición relativamente fácil aunque requiere del <i>Know-How</i> de especialistas para su elaboración
Magnitud del producto	Se produce en grandes volúmenes
Medios para el movimiento del material	Se necesitan medios especiales para la transportación del producto y posterior aspergeo del mismo
Calificación media de Operarios (relativa)	Es alta. Hay 2 Doctores y un Máster en Ciencias, 5 profesionales, 3 técnicos y 10 obreros
Mantenimiento del equipo productivo	La complejidad se clasifica como normal

Para lograr una correcta descripción del sistema productivo, surge la necesidad de conocer la forma en que se estructura el mismo; sus principales actividades, entradas, salidas y demás datos de interés.

En la campaña de biorremediación de “Cayo Santa María”, como en todas las que se han realizado hasta el momento se comienza con el proceso de inoculación a escala de laboratorio de las cinco cepas que componen el bioproducto (BIOIL-FC). De acuerdo con el objetivo de la investigación se considera como punto de partida la operación de escalado a 1 m<sup>3</sup> (Bebé).

Después que el producto es escalado a 1 m<sup>3</sup> se procede al traslado del mismo hacia el reactor industrial, en el cual se le añaden los medios de cultivos frescos (azúcar, levadura TORULA, alcohol, entre otros) para comenzar a desarrollar el bioproducto y llevarlo hasta la concentración de microorganismos requeridos (1·10<sup>8</sup> Cel·mL<sup>-1</sup> como especificación inferior). En el caso de estudio se trabaja en esta operación con un volumen efectivo de 10 m<sup>3</sup> a pesar de que el reactor tiene una capacidad total de 12 m<sup>3</sup>. Esta medida se toma para evitar que se derrame la espuma resultante del crecimiento de una de las cepas del bioproducto (tensoactivo). A medida que la fermentación avanza se le realizan inspecciones para verificar, si el bioproducto está en las concentraciones adecuadas así como monitorear su pH. Cuando el BIOIL-FC cumple con los requisitos, se procede a la extracción del mismo hacia un carro cisterna (o pipa). En este caso se extraen lotes de 4.5 m<sup>3</sup> por la necesidad de mantener en el fermentador un volumen de BIOIL-FC que, al añadirle nuevamente los medios de cultivo frescos (operación de

reaprovisionamiento), garantice un esquema de fermentación semicontinuo, permitiendo cumplir con la carga de trabajo establecida en el menor tiempo estimado posible.

Paralelamente a la operación de extracción se lleva a cabo el reaprovisionamiento siempre que no se haya cumplido con el volumen total a regar en el área impactada. Luego se realiza la transportación y por último la aplicación en la zona contaminada, pero por las características particulares de esta campaña de biorremediación, el tiempo que demora la operación de transporte se desprecia, ya que, se realiza prácticamente *“in situ”*. La operación de aplicación se realiza con un carro cisterna (de bomberos) el cual tiene una capacidad de 9 m<sup>3</sup>.

Este proceso enmarcado desde la fermentación industrial hasta la aplicación del bioproducto en la zona contaminada, se repite las veces necesarias, hasta aplicar en la zona impactada, según el patrón determinado por los especialistas, la cantidad de bioproducto requerido para mitigar la contaminación. En la campaña de biorremediación de Cayo “Santa María” se generaron un total de 21 lotes, aproximadamente 100 m<sup>3</sup> de BIOIL-FC. Con el fin de ilustrar con mayor claridad la secuencia de actividades del sistema productivo en estudio, conocer sus puntos de decisión, sus entradas y salidas, así como sus requerimientos, se elaboran un diagrama SIPOC y otro de flujo que se muestran respectivamente en los **Anexos 14 y 15**.

Luego de conocer las características generales del sistema productivo, se hace necesario confeccionar una ficha para el mismo. Esta es de gran utilidad, debido al aporte que nos brinda su contenido y se considera como un soporte de información que recaba características relevantes del proceso para el control de las actividades. En la siguiente tabla se muestra dicha ficha.

**Tabla 3.3. Ficha de la “Campaña de biorremediación”. Fuente: Elaboración propia.**

Empresa: CEAC-CEBIMAR		 
Lugar: Cayo Santa María	Fecha: 4 al 6 de Noviembre 2011	
Proceso: Campaña de biorremediación		Responsable: Jelvys Bermúdez
		Documentación: Informe final
<b>Misión</b>		
Producir a escala industrial y aplicar cumpliendo con los requerimientos de calidad, la cantidad de bioproducto necesario, para contrarrestar la contaminación por hidrocarburos en la zona impactada		
<b>Alcance</b>	Comienza cuando están creadas las capacidades logísticas y técnicas para satisfacer las necesidades del proyecto y finaliza cuando se aplica el volumen estimado de bioproducto en la zona contaminada	

Proveedores	Entradas	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- CEAC</li> <li>- CEBIMAR</li> <li>- MINAZ</li> <li>- Rayonitro Matanzas</li> <li>- Clorososa Sagua la Grande</li> <li>- Empresa Eléctrica Villa Clara</li> <li>- Bomberos</li> <li>- BIOCEN</li> <li>- AUSA</li> <li>- Termoeléctrica "Camilo Cienfuegos"</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Especialistas</li> <li>- Cristalería de laboratorio</li> <li>- Inóculo bacteriano</li> <li>- Azúcar crudo</li> <li>- Azúcar refinado</li> <li>- Levadura TORULA</li> <li>- Extracto de levadura</li> <li>- Alcohol</li> <li>- Fosfato de amonio</li> <li>- Sulfato de magnesio</li> <li>- Hidróxido de sodio</li> <li>- Ácido clorhídrico</li> <li>- Agua</li> <li>- Agua destilada</li> <li>- Equipos de transportación e izaje</li> <li>- Bombas</li> <li>- Mangueras y accesorios</li> </ul>	
Clientes	Salidas	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zona afectada por hidrocarburos</li> <li>- Empresa Eléctrica Villa Clara</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- BIOIL-FC</li> <li>- Informes parciales</li> </ul>	
Inspecciones	Registros	
Se toman muestras cada una hora para monitorear el crecimiento bacteriano	Bitácora de campaña	
<b>Demanda Neta: 100 m<sup>3</sup></b>	<b>Equipos</b>	
<b>Fondo de tiempo: 144 horas/campaña</b>		
<b>Cantidad total de trabajadores: 16</b>	<b>Categoría</b>	<b>Cantidad</b>
	Reactor a escala de banco	3
	Reactor de 0.8 m <sup>3</sup>	1
	Reactor a escala industrial de 12 m <sup>3</sup>	1
	Microscopio	1
	Carro cisterna	1
	Bomba	1
	Bombas del sistema contra incendios	2
	Compresores	2
	Montacargas	1
	Carro de apoyo	1
	Zaranda	1
Portacontenedores	2	
Grúa	1	
Variable de Control	Indicador	
Conteo de microorganismos	Concentración de Microorganismos $\geq 10^8$ Cel·mL <sup>-1</sup>	
pH	Papel de pH ( $\approx 7$ )	
Aire	Apreciación y experticia	
Espuma	Altura de la columna de espuma	

Luego de lo tratado en esta etapa se hace necesario evaluar el sistema en cuanto a su situación actual, haciendo un estudio minucioso del comportamiento de sus exigencias técnicas y organizativas, los problemas existentes y las alternativas de solución.

### Etapa III: Seguimiento y medición del proceso

Dado que los procesos investigados pueden concordarse bajo la definición de “sistema productivo”, como ha sido propuesto en la primera etapa de este capítulo. Una alternativa para el análisis es la determinación de sus exigencias técnico–organizativas. A continuación se evalúan las mismas

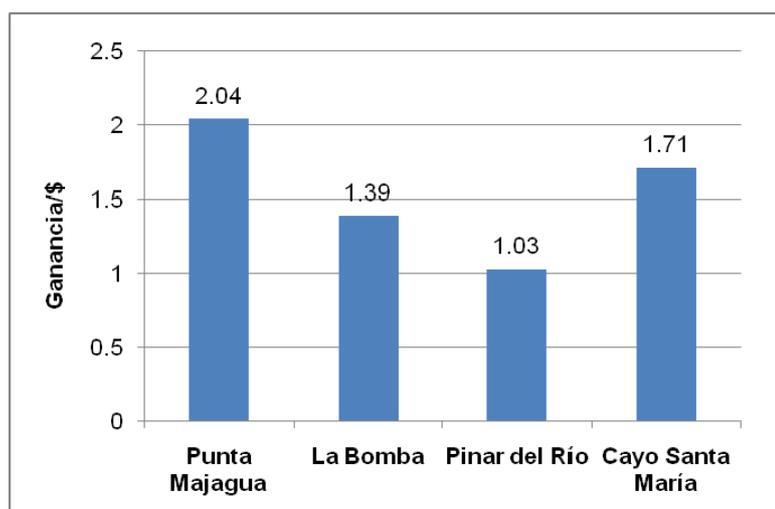
#### Dinámica de rendimiento

Para tomar en cuenta la dinámica de rendimiento del sistema productivo en análisis, es preciso considerar la totalidad de los PRAZCH que han sido ejecutados hasta la actualidad. En la tabla siguiente se muestran los ingresos y gastos de cada proyecto.

**Tabla 3.4. Total de ingresos y de gastos de cada uno de los PRAZCH realizados hasta la actualidad. Fuente: Elaboración propia.**

PRAZCH	Total de Ingresos	Total de Gastos	Ganancia/Peso	Utilidades
<b>Punta Majagua</b>	400 644.44	196 425.33	2.04	204 219.11
<b>La Bomba</b>	157 448.22	113 082.5	1.39	44 365.72
<b>Pinar del Río</b>	9 902.92	9 615.25	1.03	287.67
<b>Cayo Santa María</b>	110 026.05	64 512.65	1.71	45 513.4

Como se aprecia en la figura 3.2, se analiza el comportamiento en el tiempo de la ganancia por peso para describir esta exigencia. Las fluctuaciones del indicador económico que se observan, están en dependencia de la magnitud y circunstancias en que han tenido lugar cada uno de los proyectos. Es válido destacar que a pesar de las oscilaciones que se observan, la ganancia por peso invertido se mantiene superior a la unidad, lo que indica la factibilidad de los servicios estudiados.



**Figura 3.2. Costo por peso de cada uno de los PRAZCH realizados hasta la actualidad.**

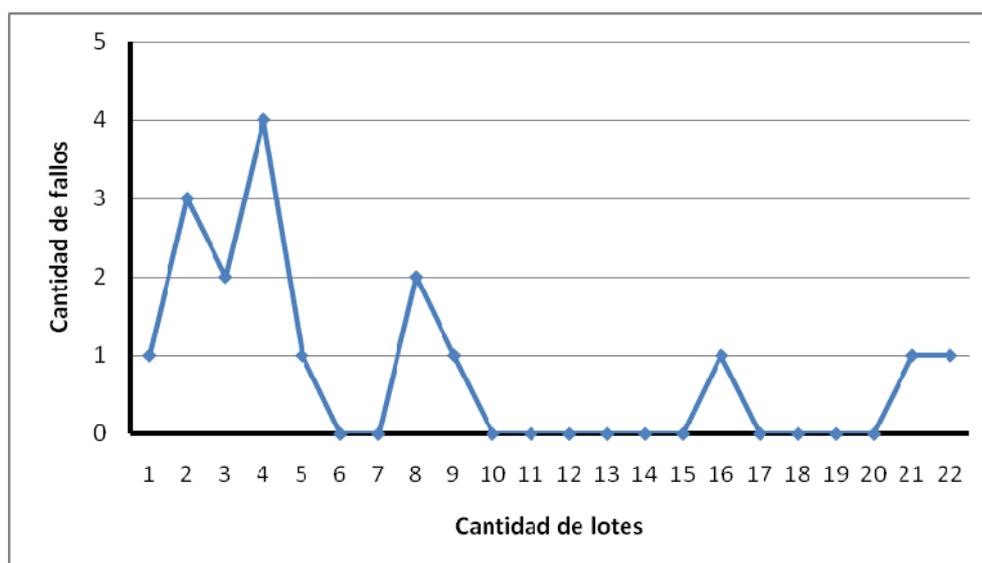
**Fuente: Elaboración propia.**

Desde que fue ejecutada la primera campaña de biorremediación en el año 2009 hasta la fecha, el equipo de trabajo ha ganado en experiencia, lo que se traduce en un mejoramiento en la fase ejecutiva de los proyectos. Aunque es preciso que se enfatice sobre la necesidad de inversión en la renovación y adquisición de equipamiento tecnológico.

### **Fiabilidad del sistema**

Para el cumplimiento de esta exigencia, se requiere del funcionamiento del sistema de producción a lo largo de la campaña de biorremediación, sin afectaciones en las variables de resultado como son volumen de producción, costo de producción y calidad del proceso. En este caso se analiza en cada lote de producción, la cantidad de fallos o interrupciones que hubo, estando descritos éstos explícitamente, en la hoja de chequeo que se encuentra en los anexos.

En la figura 3.3 se representa de forma gráfica la fiabilidad del sistema para un mejor entendimiento del tema.

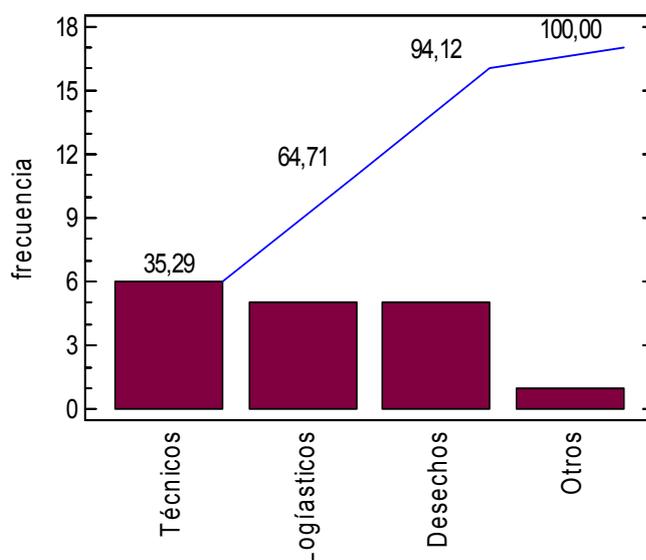


**Figura 3.3. Fiabilidad del sistema productivo. Fuente: Elaboración propia.**

De lo anterior se desprende que el sistema estudiado trabaja con una fiabilidad aproximada de un 55 % (12 observaciones sin fallo de 22), es decir que en las otras 10 observaciones al menos ocurre una interrupción por alguna causa especial. Se esclarece que la primera observación a pesar de presentar falla, no constituye un lote del reactor industrial, la misma pertenece a una fermentación a escala de 1 m<sup>3</sup>.

En consecuencia con la fiabilidad del sistema, se procede a estratificar el total de fallos con el objetivo de determinar su frecuencia. En la figura 3.4 se muestra el estado de las cuatro categorías en las que se agruparon los fallos.

Como se evidencia en la figura, no existe una diferencia marcada entre las tres primeras categorías. Ello se debe a que las observaciones no son abundantes para una sola campaña de biorremediación, por lo que se recomienda generalizar este análisis a experiencias futuras.



**Figura 3.4. Diagrama de Pareto para los fallos ocurridos en la campaña de biorremediación de Cayo Santa María. Fuente: Elaboración Propia.**

#### **Estabilidad de la producción de BIOIL-FC para la campaña de biorremediación**

Para el cálculo de la estabilidad de la producción se utiliza la media y la desviación estándar de la cantidad de bioproducto fermentado (ver en la hoja de chequeo) en cada lote a lo largo de la campaña. Ante todo, es necesario verificar si los datos siguen una distribución normal y si la muestra fue tomada de forma aleatoria, para ello el grupo de investigación decide trabajar con métodos no paramétricos, los cuales se manejan en estos casos en que la muestra es pequeña (González, 2012). Con este objeto se realizan los análisis correspondientes, estos se muestran a continuación.

**Tabla 3.5. Resumen de las prueba de aleatoriedad de las observaciones. Fuente: Elaboración propia.**

Nº	Prueba	Valor-P
1	Corridas arriba o abajo de la mediana	0.540289
2	Corridas arriba y abajo	1.48939E-9
3	Prueba Box-Pierce	0.642933

Se realizan tres pruebas para determinar si *la producción de bioproducto* es una secuencia aleatoria de números, o no. La primera prueba cuenta el número de veces que la secuencia estuvo arriba o abajo de la mediana. El número de tales corridas es igual a 2, comparado con un valor esperado de 3.0 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba

es mayor o igual que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95.0 % o mayor.

La segunda prueba cuenta el número de veces que la secuencia ascendió o descendió. El número de tales corridas es igual a 2, comparado con un valor esperado de 13.6667 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es menor que 0.05, se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95.0 %.

La tercera prueba está basada en la suma de cuadrados de los primeros 24 coeficientes de autocorrelación. Puesto que el valor-P para esta prueba es mayor o igual que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95.0 % o mayor.

Puesto que las tres pruebas son sensibles a diferentes tipos de desviaciones de un comportamiento aleatorio, el no pasar cualquiera sugiere que las observaciones no son completamente aleatorias.

Además en la tabla 3.6 se muestra el análisis realizado para corroborar el supuesto de normalidad, a pesar de la no aleatoriedad de la muestra, con la prueba Kolmogorov-Smirnov (K-S) por tratarse de menos de 30 observaciones.

**Tabla 3.6. Pruebas de bondad de ajuste K-S para la producción de bioproducto. Fuente: Elaboración propia.**

	<i>Normal</i>
DMAS	0.505252
DMENOS	0.304272
DN	0.505252
Valor-P	0.0000441198

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0.05, se puede rechazar la idea de que las observaciones provienen de una distribución normal con 95 % de confianza.

Por lo tanto el autor de la investigación desestima el cálculo de esta exigencia, pues de realizarlo, se estaría cometiendo un error, al concluir que la estabilidad de la producción es buena, cuando las observaciones tomadas no son fiables estadísticamente. Considerando el equipo de trabajo que, el no cumplimiento de los supuestos por las observaciones, está determinado por la inexistencia en el fermentador de un flujómetro que cuantifique con exactitud las mediciones. Realizándose las mismas con instrumentos improvisados que no son trazables.

### Flexibilidad de la fuerza de trabajo en la campaña de biorremediación

Este indicador expresa el nivel que tiene la organización para asumir los retos que le impone el entorno a la hora de producir. En el caso que se investiga, solo es de interés calcular la flexibilidad de la fuerza de trabajo (FFT) para asumir los retos productivos. Para el cálculo de la misma, se enumeran todos los procesos o actividades que se realizan en la campaña de biorremediación, así como todos los trabajadores que participan en la misma, además se describe la totalidad de las variables que se emplean para llegar al resultado final. En la tabla 3.7 se muestran los detalles.

#### Actividades o Procesos

1. Siembra en Tubo ensayo
2. Inoculación a Erlenmeyers (500 ml)
3. Inoculación a Biorreactores de 2 L
4. Inoculación a Biorreactores de 20 L
5. Inoculación a Fermentador de 800 L (Bebé)
6. Fermentación a escala Industrial 15 000 L
7. Extracción
8. Reaprovisionamiento
9. Aplicación

#### Fórmula utilizada (Torres and Urquiaga, 2007)

$$FFT = \frac{\sum_{i=1}^n (1 - \frac{1}{Ft_i}) * W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad \text{donde:}$$

$Ft_i$  = cantidad de funciones que pueden ser atendidas por el trabajador  $i$

$n$  = número de trabajadores

$W_i$  = Índice de importancia, en este caso, es cuantas actividades debe ser capaz de abarcar el trabajador  $i$

Tabla 3.7. Flexibilidad de la fuerza de trabajo. Fuente: Elaboración propia.

Trabajadores	Procesos o actividades									Ft <sub>i</sub>	W <sub>i</sub>	Numerador Real	Numerador Ideal
	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
Eudalis	x	No aplicable											
Valia	x	x	x	x	x	x				6	6	5	5
Yamildre	x	x	x	x	x	x				6	6	5	5
Julio		x	x	x	x	x		x		6	9	7.5	8
Osmar			x	x	x	x		x		5	6	4.8	5
Roberto			x	x	x	x		x		5	9	7.2	8
Daniel		x	x	x	x	x	x	x		7	7	6	6
Jelvys				x	x	x		x	x	5	7	5.6	6
Yoelvis					x	x	x	x	x	5	6	4.8	5
David						x	x	x	x	4	6	4.5	5
Jorge						x		x		2	3	1.5	2
Bombero 1							x		x	2	2	1	1

Trabajadores	Procesos o actividades									F <sub>t</sub>	W <sub>i</sub>	Numerador Real	Numerador Ideal
	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
Bombero 2						x		x		2	2	1	1
Ayudante 1						x		x		2	3	1.5	2
Ayudante 2						x		x		2	3	1.5	2
Operador Compresor					x	x	x	x		4	4	3	3
<b>FFT Real e Ideal respectivamente</b>											79	59.9	64
												<b>0.7582</b>	<b>0.8101</b>

Como se aprecia en la fila sombreada de verde en la tabla anterior se muestran los niveles de flexibilidad de la fuerza de trabajo real (0.7582) e ideal (0.8101). Con lo que se concluye que el indicador analizado está en parámetros adecuados con respecto a los deseados, ya que, el sistema productivo se encuentra trabajando aproximadamente para un 94 % con respecto al nivel ideal que puede alcanzar, para de esta manera asumir los retos productivos que le impone el entorno.

### Capacidad de reacción del sistema productivo

Esta exigencia logra su objetivo, a medida que es capaz de prever los plazos de entrega del bioproducto (cada vez menores) al cliente final, que en este caso, es la zona contaminada por hidrocarburos. Para realizar los cálculos se emplean los tiempos de fermentación de cada lote de aproximadamente 4.5 m<sup>3</sup>.

Es preciso aclarar que para arribar al tiempo de crecimiento del conglomerado bacteriano en un sistema cerrado, según el volumen a producir (m<sup>3</sup>), el equipo de trabajo se apoya en los modelos de crecimiento bacteriano (Núñez, 2010). Para que el lector gane en claridad sobre el tema en el **Anexo 16** se explica de forma resumida lo esencial para su entendimiento y además se calcula el tiempo de crecimiento de la bacteria que aparece en la tabla 3.8.

Primeramente, antes de realizar los cálculos pertinentes a esta exigencia, es necesario acudir al **Anexo 12** en su **Apartado 1**, en el cual se explica el motivo por el cual se excluye la observación del primer lote (con letra roja en la tabla 3.8), además se verifican los supuestos de aleatoriedad y normalidad de las observaciones para el tiempo de fermentación real.

Tabla 3.8. Tiempo de fermentación de cada lote a lo largo de la campaña. Fuente: Elaboración propia.

Lotes Producidos	Hora de Comienzo	Hora de Terminación	Tiempo crecimiento estimado (min)	Tiempo Convenido	Tiempo Real (min)
1	04:20 pm	12:00 am	-	-	460
2	01:13 am	02:40 am	120	03:13 am	87
3	03:20 am	07:00 am	106	05:17 am	220
4	07:59 am	09:35 am	120	09:59 am	96
5	10:19 am	11:45 am	120	12:19 pm	86
6	12:20 pm	01:45 pm	120	02:20 pm	85
7	02:20 pm	03:30 pm	120	04:20 pm	70
8	03:55 pm	04:55 pm	120	05:55 pm	60
9	05:15 pm	06:45 pm	120	07:15 pm	90
10	07:09 pm	08:30 pm	120	09:09 pm	81
11	09:03 pm	10:00 pm	120	11:03 pm	57
12	10:35 pm	11:25 pm	120	12:35 am	50
13	12:03 am	01:05 am	120	02:03 am	62
14	01:36 am	02:36 am	120	03:36 am	60
15	03:13 am	04:20 am	120	05:13 am	67
16	05:36 am	06:30 am	120	07:36 am	54
17	06:56 am	07:45 am	120	08:56 am	49
18	08:13 am	09:15 am	120	10:13 am	62
19	09:42 am	10:20 am	120	11:42 am	38
20	10:52 am	11:52 am	120	12:52 pm	60
<b>Condición</b> Tr plan >= Tr real		<b>μ plan</b>	119.26	<b>μ real</b>	75.47
		<b>σ plan</b>	3.21	<b>σ real</b>	38.46
		<b>Tr plan</b>	<b>124.52</b>	<b>Tr real</b>	<b>138.54</b>
<b>Datos (Torres and Urquiaga, 2007)</b> Tr = μ + b' (σ) (ecuación general)		<b>Tiempo de crecimiento estimado:</b> resulta de la estimación según los modelos y la velocidad específica de crecimiento media del BIOIL-FC			
<b>Tiempo Convenido</b> = Tiempo de crecimiento estimado + Hora de comienzo		<b>Tiempo Real:</b> resulta de cronometrar la fermentación de cada lote de bioproducto			
		<b>Tr plan:</b> tiempo de respuesta planificado			
		<b>Tr real:</b> tiempo de respuesta real			
		<b>b' (1.64):</b> estadígrafo de la distribución normal unilateral para un nivel de confianza de 95 %.			

Como se observa, la capacidad de reacción del sistema productivo no es la adecuada, para que el mismo pueda cumplir con los tiempos planificados de fermentación del bioproducto en el caso que se analiza. El tiempo de respuesta planificado es menor que el que realmente tuvo lugar en

la campaña, incumpliendo así, la condición fundamental de este indicador. Es preciso destacar que al analizar por independiente los valores que componen la ecuación de la capacidad de reacción, las diferencias entre el real y el planificado radican en que la fermentación resulta la operación limitante y presenta alta variabilidad ( $\sigma$ ).

Una vez analizado el comportamiento del sistema productivo según sus exigencias técnico-organizativas, se desprende la mejora del mismo, de acuerdo con la metodología adoptada en esta investigación.

#### **Etapa IV: Mejora del proceso**

Para realizar un proyecto de mejora en el proceso, se utiliza el método de los ocho pasos en la solución de problemas, representado en el ciclo de la calidad (PHVA). A continuación se desarrollan los pasos a seguir:

##### **Planear**

###### 1° Seleccionar el problema

Después de llevar a cabo en la etapa anterior, la medición y seguimiento del sistema productivo, se detecta la incapacidad del mismo para cumplir con las exigencias técnico-organizativas, resultando que existen tres indicadores con problemas de cinco analizados. A continuación se describe la importancia de tratar los mismos.

El incumplimiento de las exigencias que le plantea el medio al sistema productivo, trae consigo que la organización interna que debe adoptar el mismo para lograr su máxima satisfacción, no sea la correcta. De esta manera se quiebran las bases metodológicas para el logro de una adecuada organización de la producción. Este problema afecta la planificación de los tiempos en la campaña de biorremediación y tiene incidencia directa en el tiempo de ciclo, por tanto también influye en los costos de producción. Además se perturban tanto la calidad del producto (dado que se presentan desperdicios e interrupciones en los procesos), como la integridad física de los trabajadores, pues están obligados a realizar esfuerzos extra.

###### 2° Buscar todas las posibles causas

En este paso se desprende un análisis causal del problema abordado, apoyado en el diagrama de Ishikawa (diagrama causa-efecto) que se muestra en la figura 3.5. En el mismo se detectan causas hasta el tercer orden.

### 3° Investigar las causas más importantes

Con la finalidad de seleccionar las causas más importantes entre la totalidad detectada en el diagrama causa-efecto, se emplea la técnica de Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF), cuyos resultados se muestran en el **Anexo 17**. Para la confección de esta tabla se realizan reuniones con el grupo de trabajo para llegar a un consenso adecuado que permita utilizar las tasas de severidad, de ocurrencia y de detección que aparecen en el **Anexo 18**. De esta manera se obtienen los fallos potenciales que afectan al sistema productivo.

### 4° Elaborar un plan de medidas enfocado a remediar las causas más importantes

En la tabla 3.9 se confecciona el plan de medida para las causas más importantes, según la técnica AMEF, y luego en la tabla 3.10 se muestra el correspondiente plan de control para cada una de las medidas propuestas, con el objetivo de controlar la ejecución de las mismas.

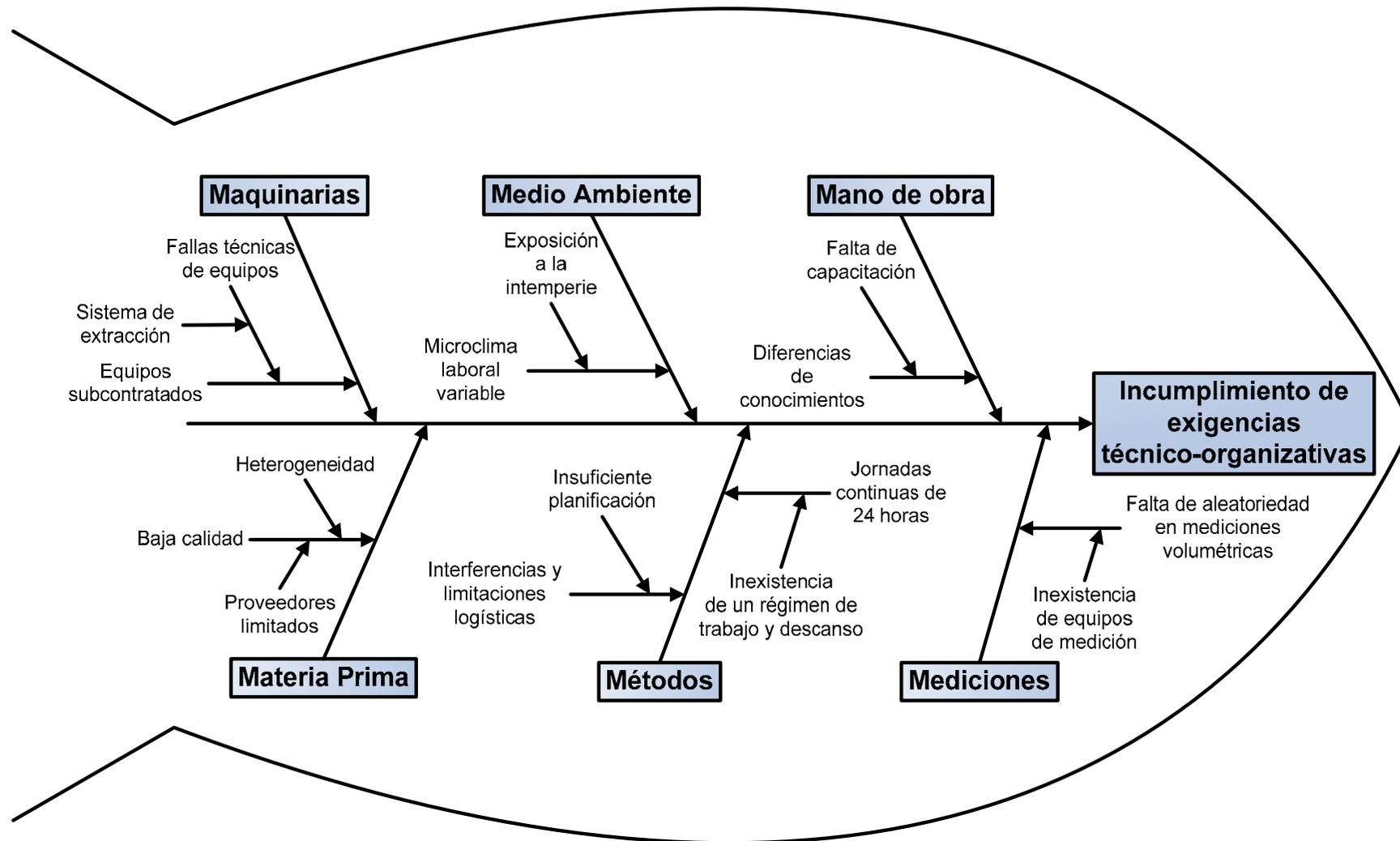


Figura 3.5. Diagrama Causa-Efecto para el incumplimiento de las exigencias técnico-organizativa. Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 3.9. Técnica de 5W y 2H. Fuente: Elaboración propia.**

<b>Principales Peligros</b>	<b>Modo de Fallo (Por Qué)</b>	<b>Medidas (Qué)</b>	<b>Forma de proceder (Cómo)</b>	<b>Plazo de Ejecución (Cuándo)</b>	<b>Responsable (Quién)</b>	<b>Actividad(es) a ejecutar la medida (Dónde)</b>
Insuficiente planificación	Interferencia de operaciones e inadecuado aprovechamiento de las capacidades	Realizar un estudio del macro proceso “planificación y proyección”	Replicar el procedimiento desarrollado durante este capítulo en el proceso de “planificación y proyección” de los PRAZCH según Beltrán et al., (2002)	Próximo curso escolar	Ing. David J. Castro Rodríguez	Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Industrial
		Evaluar la factibilidad de incluir otro reactor al proceso fermentativo	Realizar una simulación a la campaña de biorremediación utilizando los datos generados en el caso “Cayo Santa María”	En pasos sucesivos de esta investigación	Estudiante Darol Leyva Martínez	Escalado, producción y aplicación industrial
Inexistencia de equipos de medición	Falta de aleatoriedad en las mediciones	Instalación de un flujómetro y de un manómetro	Incluir en el proyecto financiado por el GEF-IWCAM para la compra de equipamiento en función del desarrollo de proyectos ambientales.	Previo a la entrega de la Tarea Técnica del proyecto para financiamiento (mes de mayo).	Coordinador del proyecto para financiamiento	En el sistema de extracción del bioproducto
		Establecer un sistema de control volumétrico	Proponer el diseño de un sistema de control para el volumen, como tema de investigación a la Facultad Ingeniería de la Universidad de Cienfuegos	Próximo curso escolar 2012-2013.	Jefe del Departamento de Ingeniería Ambiental	En el fermentador
Problemas con el sistema de extracción	Pérdidas de tiempo y desechos de producto	Mitigar la succión de sólidos sedimentados en el fermentador	Acoplar el sistema de succión en la parte superior del fermentador separado del fondo del mismo	Previo a cada extracción	Encargado de la actividad	Extracción del bioproducto
		Implantar un sistema de cubetos para reciclar los desechos de bioproducto	Entregar un modelo de solicitud al Departamento de Logística del CEAC, para que este, diseñe y elabore los cubetos	Próximo consejo de dirección del CEAC	Jefe del Departamento de Ingeniería Ambiental	Extracción del bioproducto

**Tabla 3.10. Plan de control para las medidas tomadas. Fuente: Elaboración propia.**

Actividades (Acción de Mejora)	Indicadores/ Medios de verificación	Rango de control	Medida	Frecuencia	Responsable
Realizar un estudio del macro proceso "planificación y proyección"	Acta de defensa de tesis de grado:  Puntuación obtenida en la defensa de la tesis de grado	> 3 puntos	Replicar el procedimiento desarrollado durante este capítulo en el proceso de "planificación y proyección" de los PRAZCH según Beltrán et al., (2002)	Única (Julio 2013)	Nuevo estudiante
Evaluar la factibilidad de incluir otro reactor al proceso fermentativo	Período de recuperación de la inversión promedio:  PRIp	≤ 3 años	Realizar una simulación a la campaña de biorremediación utilizando los datos generados en el caso "Cayo Santa María"	Única	Estudiante Darol Leyva Martínez
Instalación de un flujómetro y un manómetro	$y(x) = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}$	1	¿Están instalados el flujómetro y el manómetro? 0; No 1; Sí	Durante el proceso de creación de capacidades técnicas y logísticas	Especialista designado para el proceso
Establecer un sistema de control volumétrico	Acta de defensa de Tesis de Grado:  Puntuación obtenida en la defensa de la Tesis de Grado	> 3 puntos	Instalando el sistema volumétrico diseñado por el diplomante en el reactor	Única (Julio 2013)	Jefe del Departamento de Ingeniería Ambiental
Mitigar la succión de sólidos sedimentados en el fermentador	Índice de tupición de la tubería:  # de veces que se tupe la tubería / # de veces que se tupió en la campaña anterior	≤ 0.8	Registrar las veces que se tupe la tubería a lo largo de la campaña	Cada vez que se realice la operación de extracción	Especialista designado para el control de calidad en la campaña
Implantar un sistema de cubetos para reciclar los desechos de bioproducto	% de desechos de bioproducto:  (cantidad de bioproducto inutilizable / Producción total de bioproducto) * 100 %	≤ 0.27%	Estimar en unidades volumétricas la cantidad de bioproducto desperdiciado	Cada vez que se realice la operación de extracción	Operario designado para la tarea

## Hacer

### 5º Instaurar las medidas remedio

Como resultado del paso precedente, se proponen un conjunto de medidas para contrarrestar las principales causas que afectan el desempeño del sistema. Paralelamente se diseña un plan de control que garantice la correcta implementación de las orientaciones plasmadas, que al materializarse, probablemente se traduzcan en una mejora de la producción y su calidad.

Como la aplicación de la mayoría de las medidas requiere de la ejecución de un nuevo PRAZCH y la implementación de las mismas supera el alcance del presente estudio, se deja bajo la responsabilidad de los decisores del CEAC la implantación de las disposiciones.

Una de las medidas declaradas, indica la evaluación de introducir un nuevo fermentador, dado que la fermentación como se ha descrito en el **Anexo 12**, constituye la operación limitante dentro del proceso de *“Escalado, producción y aplicación industrial”*. Una alternativa para evaluar la factibilidad de la propuesta constituye realizar una simulación del proceso, creando un escenario con condiciones similares a la realidad.

Se pretende con la simulación, determinar el tiempo total que demora una campaña de biorremediación una vez introducida la nueva variante. Al reducir considerablemente su cuello de botella, se procura un progreso en la capacidad de reacción del sistema. Además con la instalación de nuevos equipos de medición se logran observaciones aleatorias y esto cumple el supuesto para realizar el cálculo de la estabilidad, lo cual pronostica un avance en la organización de la producción, para los proyectos de rehabilitación estudiados. Se completaría el cumplimiento de las exigencias técnico-organizativas con un aumento de la confiabilidad del sistema, amparada en la disminución de los fallos. Como fue demostrado en la etapa III (ver figura 3.4), los datos recabados en la campaña no son concluyentes para tomar acciones correctivas. Se debe prestar especial atención a la recopilación de los modos de fallos en proyectos posteriores, con vistas a disminuir incidencias no deseadas.

Para la simulación es preciso definir algunos aspectos tomados en cuenta en el modelo:

**Fuente generadora (Tiempo entre arribos de dos lotes consecutivos):** es el tiempo necesario para la fermentación de 4.5 m<sup>3</sup> de bioproducto, donde el crecimiento de los microorganismos llega hasta concentraciones requeridas para su aplicación al medio. En este caso se trata de dos fermentadores (1 y 2) instalados, donde se fermentan 10 m<sup>3</sup> y se divide en partes iguales, tomadas luego como pie de fermentación para ambos reactores. Es preciso

aclarar que los fermentadores tiene un desfase de 15 minutos en la generación de sus lotes. Cada uno de los fermentadores tiene los mismos tiempos de producción con una distribución exponencial ajustada a la siguiente expresión “38 + EXPO (36.8)”.

**Mecanismo de servicio (Tiempo de servicio):** es la suma de los tiempos que demoran las operaciones de extracción y la aplicación, que sigue una distribución Poisson ajustada a la siguiente expresión “POIS (17.8)”. Como recurso utilizado para la prestación del servicio se concibe un carro cisterna de bomberos con una capacidad volumétrica de 9 m<sup>3</sup>.

En el **Anexo 19** se presenta una imagen del modelo de simulación generado.

### Verificar

#### 6° Revisar los resultados obtenidos

Se realiza una valoración de la propuesta, desde las dimensiones técnica (ver tabla 3.11) y económica (ver tabla 3.12) respectivamente. Se necesita corroborar la confiabilidad estadística de los resultados obtenidos en el simulacro, en el **Anexo 20** en su **Apartado 1** se desarrolla el análisis correspondiente. A continuación se muestra la comparación de las variables de interés para la experiencia real y la alternativa propuesta.

**Tabla 3.11. Factibilidad técnica de la medida evaluada. Fuente: Elaboración propia.**

Variantes	Tiempo de la campaña			Utilización del servidor (%)	Capacidad de reacción			
	Horas	Inicio	Fin		Tiempo medio entre arribos (min)	Tr plan	Tr real	Estado
<b>Real</b>	45	Viernes 4:20 p.m.	Domingo 1:20 p.m.	16	75.47	124.52	138.54	No conforme
<b>Alternativa</b>	22	Viernes 4:20 p.m.	Sábado 12:20 p.m.	33	19.9	124.52	36.53	Conforme

Como se evidencia, la alternativa de incluir un nuevo fermentador (con características similares al actual) en el proceso de “Escalado, producción y aplicación industrial”, posibilita que se reduzca considerablemente el tiempo de la campaña de biorremediación. Para las condiciones de Cayo Santa María, esta se reduce a 22 horas como promedio. También se logra una mejora en la utilización del carro cisterna, que aunque todavía está subutilizado aumenta en un 17 %. Además se contrasta el incumplimiento de la capacidad de reacción, antes y después de la medida. Con tal objetivo en el **Anexo 20** en su **Apartado 2**, fue realizada una estimación estadística de la media de los tiempos entre arribos, para cada uno de los 22 lotes que se

produjeron en la campaña. Fue utilizado como tamaño de muestra para la estimación, 34 réplicas, obtenidas a partir de una simulación. Como se aprecia en la tabla anterior, la exigencia técnico-organizativa analizada, transita de un estado de no conformidad a estar conforme, con la nueva alternativa implantada.

**Tabla 3.12: Factibilidad económica de la medida evaluada. Fuente: Elaboración propia.**

Variantes\Recursos	Especialistas	Hospedaje	Meriendas	Compresor de aire	Montacargas hidráulico	Total
Real	15 102	660	256.05	1 221.3	1 060.65	18 300
Alternativa	14 341.62	440	170.7	895.62	518.54	16 366.48
Ahorro MT	760.38	220	85.35	325.68	542.11	1 933.52

La tabla anterior muestra los ahorros obtenidos por conceptos de optimización de recursos comparando cada variante, donde se evidencia un ahorro en moneda total (MT) de \$ 1 933.52 por cada 100 m<sup>3</sup> de BIOIL-FC.

A pesar de lo demostrado, para introducir un nuevo reactor en el proceso estudiado, teóricamente se incurre en el gasto de transportación hasta el lugar donde se enclave la planta de producción de BIOIL-FC. Con respecto a este elemento, existe la posibilidad de transportar dos fermentadores en una sola rastra portacontenedores de 12.192 m de longitud, por lo que el gasto por este concepto se mantiene constante. Además, se necesita incurrir en la inversión de diseño y construcción del fermentador, para lo cual se utiliza el costo correspondiente a la creación del que existe en la actualidad. Según reportes económicos del proyecto “Rehabilitación Ambiental Integral de Punta Majagua” el costo de construcción de un tanque de fermentación industrial es de \$ 15 592.00 en moneda total. Para analizar la factibilidad económica de la inversión, se utiliza la técnica “*período de recuperación de la inversión promedio*” (PRIp) con los datos que se muestran en la tabla siguiente.

**Tabla 3.13. Valoración económica de la inversión. Fuente: Elaboración propia.**

Variables económicas	Valores
Inversión (MT)	15 592.00
BIOIL-FC promedio (m <sup>3</sup> /año)	293.32
MT/100 m <sup>3</sup> de BIOIL-FC	1 933.52
PRIp (años)	2,75

Como se observa el período de recuperación promedio es de 2,75 años, o lo que es igual, 33 meses. A pesar de que el indicador no se enmarca en el corto plazo (un año), es preciso acotar

que el fermentador es un equipo de larga durabilidad. Además los servicios brindados por el DIA tienden a crecer en cantidad por año, con el incremento de las operaciones previstas en la industria petrolera cubana. Asimismo se destaca que incurrir en la inversión no significa perder dinero, sino dejar de ganar, dado que el caso que se estudia “Cayo Santa María”, presentó utilidades antes de impuestos en moneda total de \$ 35 383.42.

## **Actuar**

### 7° Prevenir la Recurrencia del Problema

En función de los resultados alcanzados se propone a la dirección del departamento de Ingeniería Ambiental, introducir otro fermentador en la ejecución de las próximas campañas de biorremediación. Para ello debe enviarse en el trimestre próximo, un proyecto solicitando su construcción, al taller de reparaciones de Cupet Villa Clara. Se propone estandarizar la simulación de la campaña de biorremediación durante el proceso de planificación y proyección de los PRAZCH.

A continuación se desglosan algunos de los beneficios indirectos e intangibles que se logran con la mejora:

- Disminución de la carga física de los trabajadores presentes en la campaña
- Disminución de la carga mental de los trabajadores presentes en la campaña
- Aumento de la satisfacción laboral
- Disminución del tiempo de ocupación del emplazamiento del cliente
- Disminución del tiempo de utilización de los equipos no alquilados (carro cisterna de bombero, microscopio, carro de apoyo, entre otros)
- Disminución de consumo eléctrico, por concepto de uso de laboratorio y oficina
- Aumento de la satisfacción del cliente por realización más rápida del trabajo

### 8° Conclusiones

Con la metodología de los ocho pasos se da solución al incumplimiento de la capacidad de reacción del sistema productivo. Además se confirma la factibilidad y viabilidad de la medida propuesta, en las dimensiones técnica y económica. Se recomienda además la implementación del resto de las acciones emitidas en el plan de medidas.

### Conclusiones parciales del capítulo

1. Se identificaron los macro procesos de los PRAZCH y representados en un mapa general. Se seleccionaron como críticos según el criterio de los expertos: “Escalado, producción y aplicación industrial” así como el “Monitoreo y control de la fermentación”.
2. Se describieron las actividades y características de los procesos críticos, los cuales fueron analizados como un sistema productivo denominado “*Campaña de biorremediación*”, su tipo de producción resultó “mediana serie”.
3. Se determinaron la exigencias técnico-organizativas de la “*campaña de biorremediación*”, presentando problemas el sistema con su fiabilidad, estabilidad y la capacidad de reacción.
4. Se mejoró el incumplimiento de las exigencias técnico-organizativas a través de la implementación de los “*ochos pasos en la solución de problemas*”. Se buscaron e investigaron las posibles causas, emitiéndose un plan de medidas para las más importantes, quedando la mayoría, propuestas a los decisores del CEAC.
5. La propuesta de incluir un nuevo fermentador en el sistema productivo, resultó “ejecutable” al corroborarse su factibilidad técnico-económica y su viabilidad. Con ella, se obtuvo una mejora de la utilización del carro cisterna de un 17%. Se logró una disminución a menos de 24 horas, del tiempo de realización de una campaña de biorremediación, para una carga de 100 m<sup>3</sup> de bioproducto. Para el mismo volumen, se generó un ahorro de \$ 1 933.52 en moneda total y resultó el PRlp de la nueva alternativa de 2.75 años.



## CONCLUSIONES GENERALES

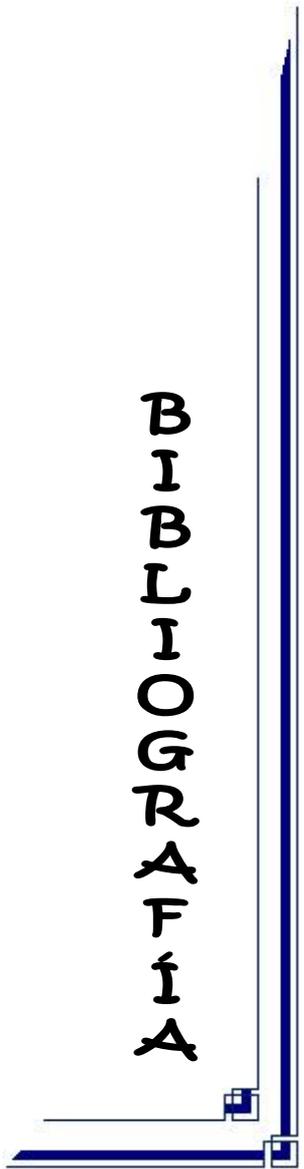
1. Queda clasificada la organización de los PRAZCH con la categoría de “Excelente”. Se identificaron sus macro procesos y se representaron en un diagrama general. Se seleccionaron como críticos según el criterio de los expertos: “Escalado, producción y aplicación industrial” así como el “Monitoreo y control de la fermentación”, los cuales fueron analizados como un sistema productivo denominado “*Campaña de biorremediación*”, su tipo de producción resultó “mediana serie”. Quedaron descritas sus características y actividades.
2. Se determinaron las exigencias técnico-organizativas de la “*campaña de biorremediación*”, quedando clasificado el sistema como “deficiente”.
3. Se mejoró el incumplimiento de las exigencias técnico-organizativas a través de la implementación de los “*ochos pasos en la solución de problemas*”. Se buscaron e investigaron las posibles causas, emitiéndose un plan de medidas para los decisores del CEAC.
4. La propuesta de incluir un nuevo fermentador en el sistema productivo, resultó “ejecutable” al corroborarse su factibilidad técnico-económica y su viabilidad. Con ella, se obtuvo una mejora de la utilización del carro cisterna de un 17%. Se logró una disminución a menos de 24 horas, del tiempo de realización de una campaña de biorremediación, para una carga de 100 m<sup>3</sup> de bioproducto. Para el mismo volumen, se generó un ahorro de \$ 1 933.52 en moneda total y resultó el PRlp de la nueva alternativa de 2.75 años.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

## **RECOMENDACIONES**

1. Enfatizar en la recopilación detallada de los modos de fallos del sistema productivo, para realizar un proyecto de mejora de la confiabilidad del mismo.
2. Los decisores del CEAC deben desarrollar el plan de medidas propuesto, para la mejora del sistema productivo.
3. Replicar el estudio desarrollado en esta investigación, para los demás procesos que componen los PRAZCH. Se recomienda comenzar por los que prevalecen como más críticos según la votación de los expertos realizada.
4. Tomar el presente estudio como caso práctico para debatir en la carrera de Ingeniería Industrial, de la Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez”.

# BIBLIOPHILIA



## BIBLIOGRAFÍA

La bibliografía ha sido compilada utilizando el Software EndNote X 4, versión del sistema Harvard Author-Date.

- ACEVEDO, J. A. 2007. Organización de la producción y los servicios. *In*: PADILLA, E. N. D. C. A. (ed.) *Cuaderno Universitario*. Cuba.
- ALBERT, L. A. 2004. Contaminación Ambiental. Origen, clases, fuentes y efectos.
- ALDRETT, S., BONNER, J. S., MCDONAL, T. J., MILLS, M. A. & AUTENRIETH, R. L. 1997. Degradation of Crude Oil Enhanced by Commercial Microbial Cultures. 1997 *International Oil Spill Conference*. Washington D.C: American Petroleum Institute.
- ALEXANDER, M. 1999. Biodegradation and Bioremediation. *In*: ACADEMIC PRESS, I. (ed.) 2da ed. San Diego.
- BELTRÁN, J., CARMONA, M. A., CARRASCO, R., RIVAS, M. A. & TEJEDOR, F. 2002. Guía para una gestión basada en procesos. *In*: BEREKINTZA, I. (ed.). Instituto Andaluz de Tecnología.
- BERMÚDEZ, J. 2012. *Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos a partir del uso de un consorcio bacteriano alóctono, en la zona costera de Punta Majagua, Cienfuegos, Cuba*. Tesis de Maestría, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas.
- BERMÚDEZ, J., GONZÁLEZ, A. & ORTIZ, E. 2012. Contaminación por hidrocarburos de una zona baja de manglar en el sector centro-sur de Cayo Santa María, Jardines del Rey, Cuba. Cienfuegos: Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos.
- BERMÚDEZ, J., NUÑEZ, R., ORTÍZ, E. & CASTRO, Y. 2011. Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos en la zona costera de Punta Majagua *Infociencia*, 1-12.
- BOWN, H. 2008. *Diplomado de Postítulo en Rehabilitación Ambiental* [Online]. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales. Available: <http://www.forestal.uchile.cl/diplomados/restauracion> [Accessed].
- CABRERA, H. & MATA, M. 2011. Presupuestación. *In*: RODRÍGUEZ", U. D. C. C. R. (ed.) *Criterios de evaluación financiera de inversiones alternativas*. Cienfuegos.
- CALIDAD, S. L. P. L. 2000. Herramientas básicas del ingeniero.
- CASTRO, D. J. 2009. *Procedimiento para el estudio de factores de riesgos laborales en procesos de rehabilitación de suelos contaminados por hidrocarburos, en la zona de Punta Majagua, Cienfuegos*. Tesis de Grado, Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez".
- CASTRO, D. J. 2010. Estrategia de Comercialización de los servicios Científico Técnicos en el CEAC 2010-2012. Cienfuegos: Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez".
- CITMA 1999. Resolución No. 87/99. Desechos Peligrosos. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.
- CROSBY, P. 1988. The eternally successful organization. USA: Mc Graw Hill.

- DÁVALOS, L. 2010. *Dossier: Accidente de la plataforma Deepwater Horizon* [Online]. Caracas. Available: <http://caracas1067.wordpress.com/ambiente/dossier-accidente-de-la-plataforma-deepwater-horizon/> [Accessed Junio,2 2010].
- EMC, T. 2007. Gestión de Proyectos tecnológicos.
- ERCOLI, E. C., GÁLVEZ, J. A., DI PAOLA, M., CANTERO, J. A., VIDELA, S. & MEDAURA, C. 1999. Biorremediación de suelos altamente contaminados. 11p.
- EWEIS, J. B. 1999. Principios de biorrecuperación: tratamientos para la descontaminación y regeneración de suelos y aguas subterráneas mediante procesos biológicos y físico-químicos. Mc Graw Hill.
- FARACHE, G. 2008. *Manual de seguridad industrial en operaciones de Landfarming* [Online]. Venezuela. Available: <http://www.estrucplan.com.ar/Articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=704> [Accessed].
- FLORES, M. A., TORRAS, S. & TÉLLEZ, R. 2004. Medidas de Mitigación para uso de suelos contaminados por derrames de hidrocarburos en infraestructura de transporte terrestre. Sanfandila, Qro. México: Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Instituto Mexicano del Transporte.
- GLAZER, A. N. & NIKAIDO, H. 1995. *Microbial Biotechnology: Fundamentals of Applied Microbiology*, W.H. Freeman and Company, New York.
- GONZÁLEZ, A. 2012. Diplomado Estadística Aplicada a las Ciencias Ambientales.
- Módulo I. Probabilidades y Estadística Básica. In: CIENFUEGOS, C. D. E. A. D. (ed.) *Pruebas no paramétricas más usadas*. Cienfuegos.
- GUTIÉRREZ, H. & DE LA VARA, R. 2004. Control estadístico de calidad y seis sigma. In: INTERAMERICANA, M.-H. (ed.). México D.F.
- HERNÁNDEZ, Y. 2010. *Aplicación de un procedimiento de gestión para la mejora del proceso de Planificación y Control de la producción en la empresa de Soluciones Mecánicas de Cienfuegos*. Tesis de Grado, Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez".
- ISO 9000, C. S. 2000. Sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario. *ISO TC 176*. Suiza.
- LUQUE, J. L. 2009. *Desempeño de cuatro especies vegetales para fitorremediar suelos contaminados con hidrocarburos en Patagonia*. Maestría en Manejo Industrial, Maimónides.
- MAESO, J. V. & ROSA, A. 2004. El Project Management como elemento de Control y Gestión. *VIII Congreso de Ingeniería de Organización*, 10p.
- MAROTO, E. & ROGEL, J. M. 2009. Aplicación de sistemas de biorremediación de suelos y aguas contaminadas por hidrocarburos. *Revista Geocisa*.
- MEDINA, A., NOGUEIRA, D., PÉREZ, A. & QUINTANA, L. 2002. La empresa como sistema productivo. Criterios para la caracterización y clasificación. Matanzas: Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos".

- NOGUEIRA, D. 2002. *Modelo Conceptual y herramientas de apoyo para potenciar el Control de Gestión en las Empresas Cubanas*. Tesis Doctoral, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos".
- NÚÑEZ, R. 2003. *Obtención, caracterización y aplicación de un bioproducto bacteriano para la biorremediación de derrames de hidrocarburos*. Tesis Doctoral, Universidad de la Habana.
- NÚÑEZ, R. 2010. Modelos de crecimiento bacteriano. *Cinética del crecimiento microbiano en sistemas cerrados*. Cienfuegos: Centro de bioproductos marinos.
- NÚÑEZ, R., ORTÍZ, E., ORAMA, J. & BARBÁN, O. 2008. Informe de Biorremediación del río y la ensenada de Bacunayagua. La Habana: CEBIMAR.
- NÚÑEZ, R., ORTIZ, E., ORAMAS, J. A., BARBÁN, O., MORALES, M., CABALLERO, V., OJEDA, D., BERMÚDEZ, J., CASTRO, D. J., CASTRO, Y. & POMA, J. R. 2011. Biorremediación del "Arroyo la Bomba". La Habana: Cebimar.
- OPPENHEIMER BIOTECHNOLOGY, I. 2001. *About Biorremediation* [Online]. Available: <http://www.obio.com/bioremediation.htm> [Accessed Abril, 12, 2010].
- PADRÓN, V. 2007. *Máster de gestión de empresas de servicios* [Online]. Available: <http://moodle.uho.edu.cu/mod/resource/view.php?inpopup=true&id=7327> [Accessed].
- PULIDO, D. A. 2011. *Diseño del sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo en el Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos*. Tesis de Grado, Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez".
- RODRÍGUEZ, J. J. I., ÁNGEL 1999. *Los residuos Peligrosos: Caracterización, tratamiento y gestión*, Editorial Síntesis.
- ROSINI, F. D. 1960. Hydrocarbons in petroleum *Journal of Chem. Educ.*, 39, 554 - 561.
- SÁNCHEZ, J. & RODRÍGUEZ, J. L. 2005. Biorremediación. Fundamentos y aspectos microbiológicos. pp. 12-16.
- SHMAEFSKY, B. R. 1999. *Bioremediation: Panacea or fad? Access Excellence* [Online]. The National Health Museum. Available: <http://www.accessexcellence.org/LC/ST/st3bg.html> [Accessed 23 de Marzo, 2010].
- TORRES, L. & URQUIAGA, A. J. 2007. *Fundamentos teóricos sobre gestión de producción*. CUJAE.
- TRISCHLER, W. 2000. Hacia la mejora de los procesos en la organización. In: SANTOS, D. D. (ed.).
- UNE 157 801, N. 2005. Criterios Generales para la elaboración de proyectos de Sistemas de Información. España.
- VALDÉS, T. 2009. Características de la gestión por proceso y la necesidad de su implementación en la empresa cubana.
- VARAS, M. 2005. Examinando los procesos de la Dirección de proyectos. *IX Congreso de Ingeniería de Organización* [Online].

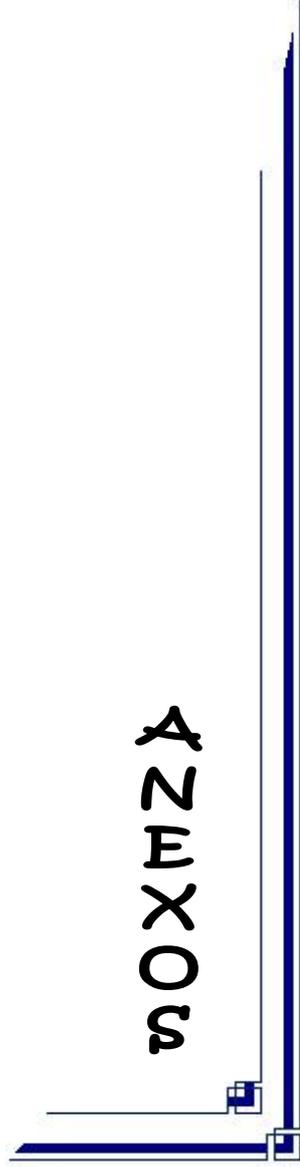
VARGAS, P. A., CUÉLLAR, R. R. & DUSSÁN, J. 2004. Biorremediación de residuos del petróleo. *APUNTES CIENTÍFICOS UNIANDINOS*, No. 4. , 5.

VENOSA, A. D., SUIDAN, M. T., WRENN, B. A., STROHMEIRER, K. L., HAINES, J. R., EBERHART, B. L., KING, D. & HOLDER, E. 1996. Bioremediation of an experimental oil spill an the shoreline of Delaware Bay. *Enviro. Sci. Techol*, vol. 30, pp. 1764-1775.

VILLA, E. M. & PONS, R. Á. 2006. Gestión por procesos. Monografía. Cienfuegos: Universidad de Cienfuegos.

WRENN, B. A. & VENOSA, A. D. 1996. Selective enumeration of aromatic and aliphatic hydrocarbon degrading bacteria by a most-probable-number procedure *Can. J. Microbiol*, vol. 42, pp. 252–258.

ΑΖΗΧΟΣ



**Anexo 1. Conceptos de biorremediación según criterio de diferentes autores. Fuente: (Castro, 2009).**

Autor	Concepto
Glazer y Nikaido (1995)	Tecnología que utiliza el potencial metabólico de los microorganismos (fundamentalmente bacterias, pero también hongos y levaduras) para transformar contaminantes orgánicos en compuestos más simples poco o nada contaminantes, y, por tanto, se puede utilizar para limpiar terrenos o aguas contaminadas.
Flores et al., (2004)	Consiste en el uso de microorganismos naturales (enzimas, levaduras, hongos, o bacterias) para descomponer o degradar sustancias peligrosas en otras menos tóxicas o que no sean tóxicas.
Vargas et al., (2004)	Proceso utilizado por el hombre para destoxificar varios contaminantes en diferentes ambientes, usando de forma estratégica microorganismos, plantas o enzimas de estos.
Rodríguez (1999)	Tecnología que se basa en el uso de microorganismos para transformar contaminantes orgánicos en compuestos más simples poco contaminantes o, en el mejor de los casos, no contaminantes.

## **Anexo 2. Diferentes métodos para aplicar las técnicas biocorrectivas. Fuente: (Rodríguez, 1999)**

### **Bioestimulación**

Como su nombre lo indica, consiste en estimular los microorganismos nativos el suelo adicionando nutrientes como nitrógeno o fósforo.

### **Bioaireación**

Es una forma de estimulación realizada con gases, como por ejemplo oxígeno y metano, estos son adicionados de forma pasiva en el suelo para estimular la actividad microbiana.

### **Bioaugmentación**

Es la inoculación de una alta concentración de microorganismos en el suelo contaminado para facilitar la biodegradación. Como se van a inocular, estos microorganismos deben ser seleccionados del suelo que se desea tratar.

### **Compostaje**

Esta estrategia de biorremediación utiliza microorganismos aeróbicos y termófilos, formando pilas de material que deben ser mezcladas y humedecidas periódicamente para promover la actividad microbiana.

### **Fitorremediación**

Uso de plantas para remover, contener o transformar un contaminante. Esta puede ser directa, donde las plantas actúan sobre el compuesto, o indirecta, donde estas se utilizan para estimular microorganismos en la rizosfera.

### **Atenuación natural**

Se denomina biorremediación intrínseca o atenuación natural, a la que sobre muchos compuestos orgánicos se lleva a cabo por los microorganismos autóctonos, principalmente bacterias, del medio afectado. La capacidad intrínseca de asimilación de un medio depende, de las habilidades metabólicas de los microorganismos nativos, del tipo de contaminante y, lógicamente, de la geoquímica y la hidrogeología en la zona.

**Anexo 3. Principios de gestión de la calidad. Fuente: (Beltrán et al., 2002).**

## Principios de Gestión de la Calidad

**Enfoque al cliente:** Las organizaciones dependen de sus clientes y por lo tanto deberían comprender las necesidades actuales y futuras de los clientes, satisfacer los requisitos de los clientes y esforzarse en exceder las expectativas de los clientes.

**Liderazgo:** Los líderes establecen la unidad de propósito y la orientación de la organización. Ellos deberían crear y mantener un ambiente interno, en el cual el personal pueda llegar a involucrarse totalmente en el logro de los objetivos de la organización.

**Participación del personal:** El personal, a todos los niveles, es la esencia de una organización y su total compromiso posibilita que sus habilidades sean usadas para el beneficio de la organización.

**Enfoque basado en procesos:** Un resultado se alcanza más eficientemente cuando las actividades y los recursos relacionados se gestionan como un proceso.

**Enfoque de sistema para la gestión:** Identificar, entender y gestionar los procesos interrelacionados como un sistema, contribuye a la eficacia y eficiencia de una organización en el logro de sus objetivos.

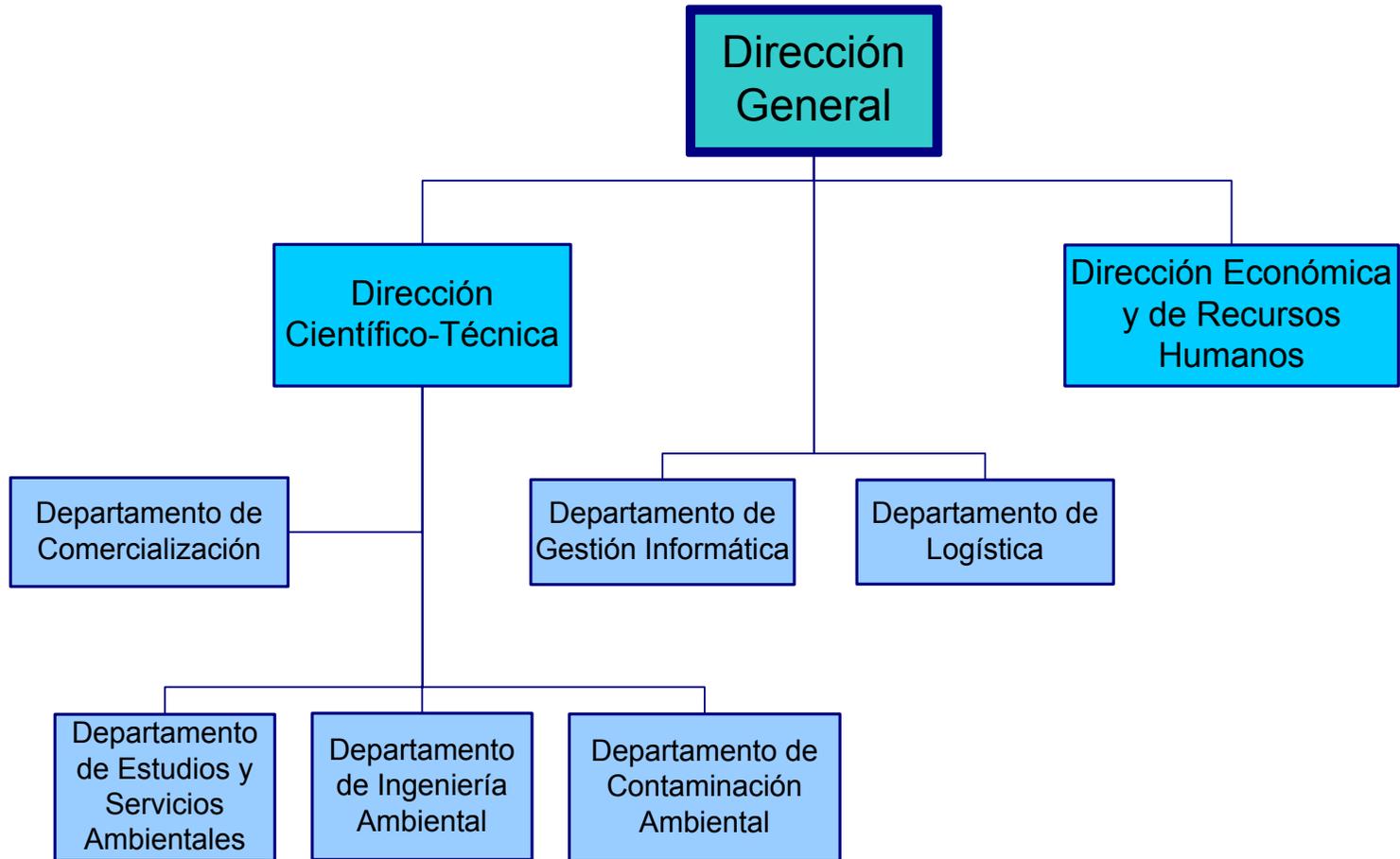
**Mejora continua:** La mejora continua del desempeño global de la organización debería ser un objetivo permanente de ésta.

**Enfoque basado en hechos para la toma de decisión:** Las decisiones eficaces se basan en el análisis de los datos y la información.

**Relaciones mutuamente beneficiosas con el proveedor:** Una organización y sus proveedores son interdependientes, y una relación mutuamente beneficiosa aumenta la capacidad de ambos para crear valor.

ISO 9000:2000

Anexo 4. Organigrama de la entidad objeto de estudio. Fuente: CEAC.



Anexo 5. Matriz de entrecruzamiento. Fuente: (Castro, 2010).

		AMENAZAS										OPORTUNIDADES							
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8
DEBILIDADES	D1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
	D2	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1		1	1	1	1	1	1	1
	D3	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0		1	1	1	0	1	1	1
	D4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1
	D5	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0		1	1	1	1	1	1	0
	D6	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	0
	D7	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0		1	1	1	0	1	1	0
	D8	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0		0	1	1	1	0	1	1
	D9	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1
	D10	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1		1	1	1	1	1	1	1
	D11	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0		1	1	1	1	1	1	1
	D12	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1
	D13	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1
	D14	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0		1	1	1	1	1	1	1
	D15	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0		1	1	1	1	1	1	1
	D16	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0		1	1	1	1	1	1	1
	D17	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1
	D18	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1		1	1	1	1	1	1	1
FORTALEZAS	F1	0	0	0	0	1	0	0	0	0		1	1	1	1	1	1	1	
	F2	0	0	0	0	1	0	0	0	0		1	1	1	1	1	1	1	
	F3	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1		1	1	1	1	1	1	
	F4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		1	1	1	1	1	1	
	F5	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0		1	1	0	1	1	1	
	F6	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0		1	1	1	1	1	1	
	F7	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1		1	1	1	1	1	1	
	F8	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0		1	1	1	1	1	1	
	F9	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0		1	1	1	1	1	1	
	F10	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1		1	1	1	1	1	1	
	F11	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0		1	1	1	1	1	1	
	F12	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0		1	1	1	1	1	1	
	F13	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0		1	1	1	1	1	1	
	F14	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0		1	1	0	0	1	1	
	F15	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1		1	1	1	1	1	1	

## **Anexo 6. Breve descripción del caso de estudio “Biorremediación Cayo Santa María”.**

**Fuente: (Bermúdez et al., 2012).**

Ubicado en el Archipiélago de Jardines del Rey al norte de la Isla de Cuba, como se localiza en la figura siguiente, Cayo Santa María; bautizado como “La Rosa Blanca de los Jardines del Rey” tiene una superficie de 21.4 km<sup>2</sup>, de los cuales 12.5 km constituyen tierras emergidas y el resto manglares y lagunas. Con una extensión longitudinal de 13 km, alberga más de 10 km de playas naturales vírgenes, que lo convierten en uno de los destinos turísticos de mayor importancia del país. La riqueza, diversidad y fragilidad de su flora y fauna silvestre; caracterizada fundamentalmente por su endemismo, propició que en el año 2000 fuera declarado por la UNESCO como Reserva de la Biosfera.



La alta demanda de energía eléctrica, provoca que al no estar conectado el Cayo al sistema electro-energético nacional, ésta tenga que ser generada mediante unidades de grupos electrógenos de diesel y fueloil, incrementándose entre otros, los riesgos asociados a la contaminación por hidrocarburos.

La Unidad Básica Empresarial (UEB) Cayo Santa María perteneciente a la Unión Eléctrica Nacional (UNE), se localiza en el sector centro-sur del Cayo; con una potencia instalada de 20.3 MW, suministra el 100 % de la energía demandada.

En el año 2009, como consecuencia de malas operaciones y problemas de diseño del sistema primario de separación de lodos petrolizados y aguas oleosas, se produjo la contaminación gradual de 20 500 m<sup>2</sup> de una zona baja de manglar. El derrame produjo la pérdida de parte del mangle y afectaciones a la biota acuática y terrestre; constituyendo además un peligro potencial de contaminación de otras áreas naturales, debido a la dispersión del fueloil a través del sistema de canales naturales y canalizos que conforman el Cayo.

**Anexo 7. Modelo de ficha de proceso propuesto. Fuente: Elaboración propia.**

<b>Empresa:</b>		<b>Fecha:</b>	<b>Logo</b>
<b>Lugar:</b>			
<b>Proceso:</b>		<b>Responsable:</b>	
		<b>Documentación:</b>	
<b>Misión:</b>			
<b>Alcance:</b>			
<b>Proveedores:</b>		<b>Entradas:</b>	
<b>Clientes:</b>		<b>Salidas:</b>	
<b>Inspecciones:</b>		<b>Registros:</b>	
<b>Demanda Neta:</b>		<b>Equipos</b>	
<b>Fondo de tiempo:</b>			
<b>Cantidad total de trabajadores:</b>		<b>Categoría:</b>	<b>Cantidad:</b>
		<b>Nº Operadores en el turno:</b>	
<b>Variables de Control:</b>		<b>Indicadores:</b>	

**Anexos 8. Método Delphi. Fuente: Elaboración propia.**

**Cantidad de expertos**

La cantidad de expertos se determina a través de la fórmula siguiente.

$$n = \frac{p(1-p)k}{i^2}$$

$$n = \frac{0.03(1-0.03)3.8416}{0.12^2}$$

$$n = \frac{0.11179}{0.0144}$$

$$n = 7.76319$$

$$n \approx 8 \text{ Expertos}$$

Dónde:

k: Constante que depende del nivel de significación estadística.

p: Proporción de error que se comete al hacer estimaciones del problema con n expertos (0.03).

i: Precisión del experimento (0.12).

n: Número de expertos.

En la siguiente tabla se muestra la constante k para cada nivel de confianza. En este caso se trabajó con un NC = 95 %.

1 - α	k
99%	6.6564
95%	3.8416
90%	2.6896

A continuación se muestra la votación de los expertos para cada uno de los procesos:

*Votación de los expertos*

Procesos	Expertos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Planificación y proyección	3	3	3	3	3	3	2	3
Creación de capacidades técnicas y logísticas	7	7	6	8	6	6	7	8
Diagnóstico del área impactada	6	6	7	6	7	7	6	6
Acondicionamiento del residual	4	5	4	4	4	5	5	4
Escalado, producción y aplicación industrial	1	1	2	1	1	2	4	1
Disposición final	5	4	5	5	5	4	1	5
Monitoreo y control de fermentación	2	2	1	2	2	1	3	2
Monitoreo y control de degradación de hidrocarburos	8	8	8	7	8	8	8	7

**Procesamiento**

Luego se procede al procesamiento de los datos utilizando el paquete SPSS 16.0, arrojando los resultados que se muestran en las tablas siguientes:

*Estadígrafos relacionados con la prueba de Kendall. Fuente: Elaboración propia.*

N	8
Kendall's W <sup>a</sup>	,895
Chi-Square	50,125
df	7
Asymp. Sig.	,000
a. Kendall's Coefficient of Concordance	

La consistencia del juicio de los expertos se evalúa mediante la prueba de hipótesis siguiente:

H<sub>0</sub>: el juicio de los expertos no es consistente.

H<sub>1</sub>: el juicio de los expertos es consistente.

Este análisis presenta ocho características, por lo que la prueba de hipótesis que se realiza es la chi-cuadrado ( $\chi^2$ ).

Región Crítica:  $\chi^2_{\text{calculada}} \geq \chi^2_{\text{tabulada}} (\alpha=0.05, k-1=8-1=7)$

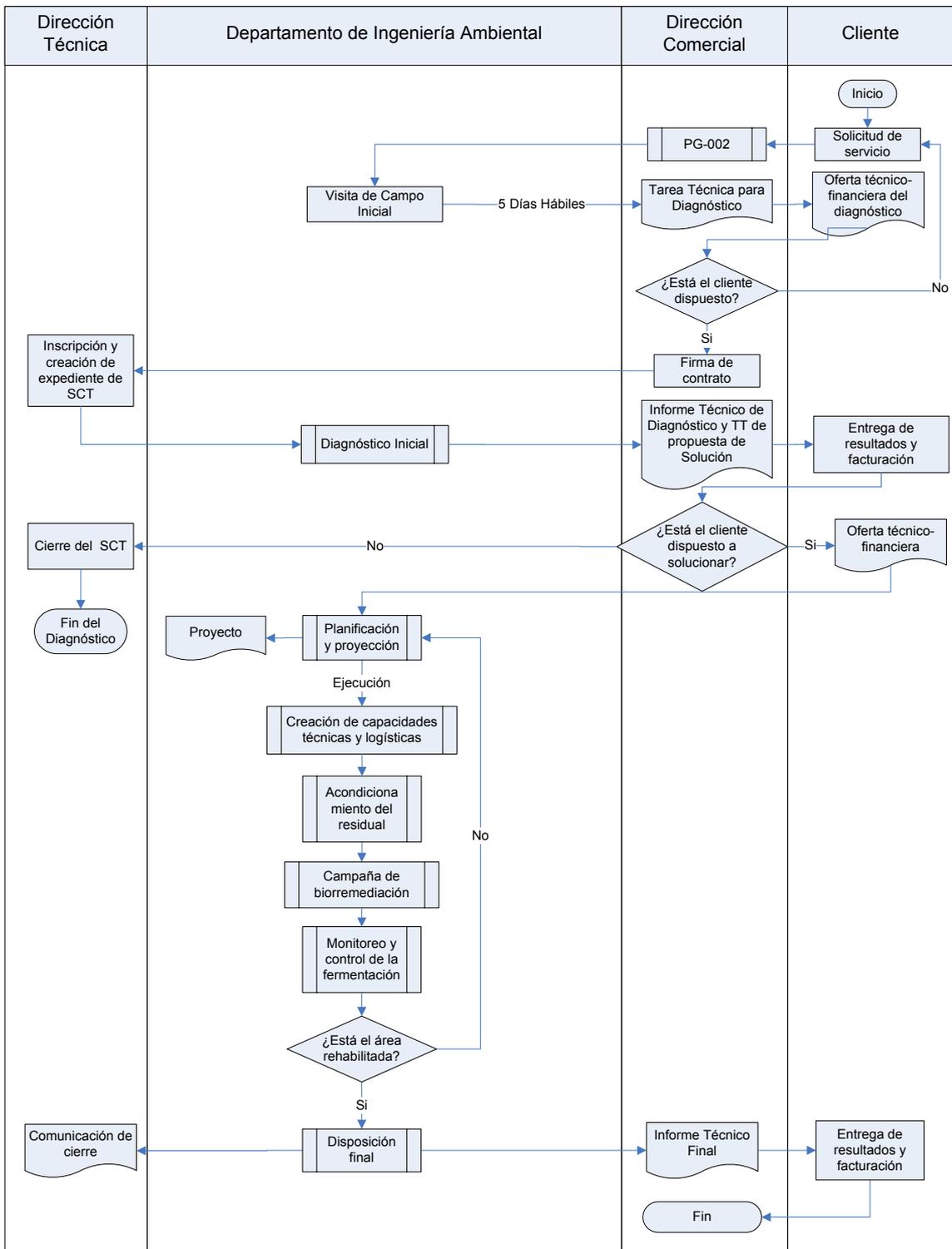
Si se cumple la región crítica se rechaza H<sub>0</sub>, existiendo consistencia en el juicio de los expertos.

En este caso  $\chi^2_{\text{calculada}}$  (50.125) es mayor que  $\chi^2_{\text{tabulada}}$  (14.067) cumpliéndose la región crítica, por tanto, el juicio de los expertos es consistente. Llegando a la conclusión que los resultados obtenidos en esta prueba son confiables. En correspondencia con el juicio de los expertos se muestra la siguiente tabla que representa los procesos que deben ser prioridad a investigar, según la media de rangos calculada para cada proceso.

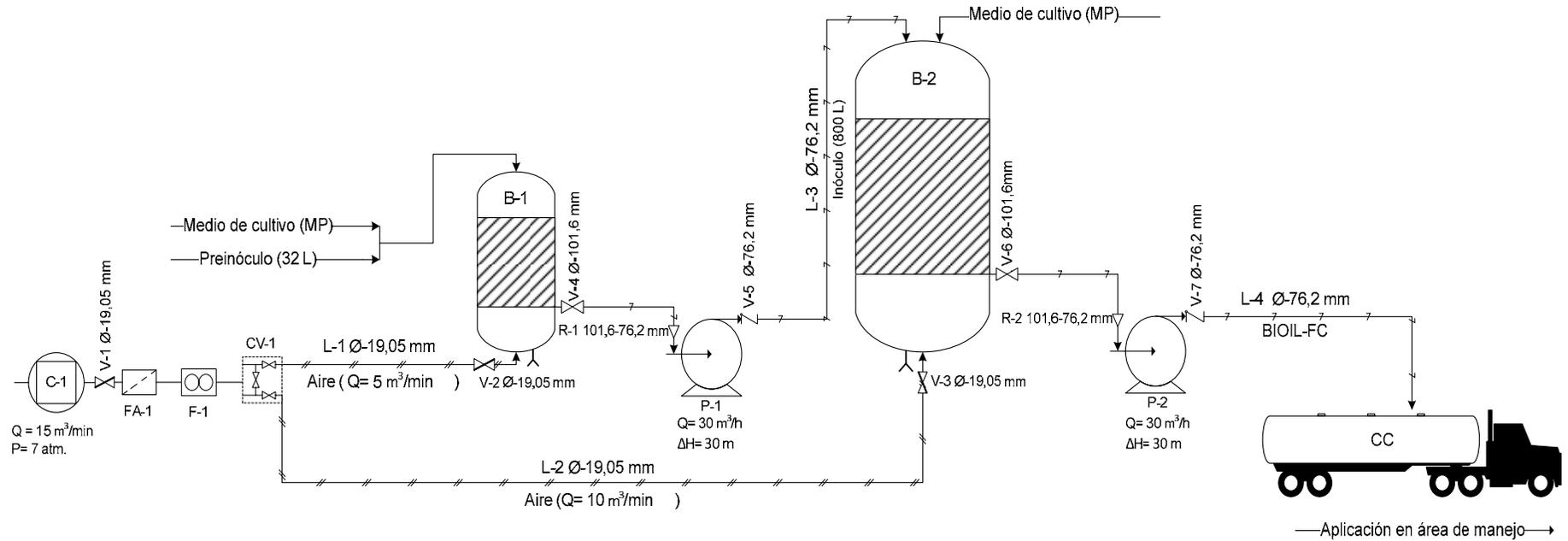
*Media de rangos para cada índice. Fuente: Elaboración propia.*

Procesos	Mean Rank
Planificación y proyección	2,88
Creación de capacidades técnicas y logísticas	6,88
Diagnóstico del área impactada	6,38
Acondicionamiento del residual	4,38
Escalado, producción y aplicación industrial	<b>1,62</b>
Disposición final	4,25
Monitoreo y control de fermentación	<b>1,88</b>
Monitoreo y control de degradación de hidrocarburos	7,75

**Anexo 9. Diagrama de cruce funcional del sistema productivo. Elaboración propia.**



**Anexo 10. Planta de producción de BIOIL-FC. Fuente: (Bermúdez, 2012).**



Leyenda		
	→ Válvula de mariposa	B-1 → Biorreactor (1 000 L)
	→ Válvula de compuerta	B-2 → Biorreactor (12 000 L)
	→ Válvula de retención	CC → Carro cisterna (7 000 L)
	→ Reducido	P → Presión (atm.)
	→ Drenaje	Q → Flujo (m³/min)
	→ Línea de aire presurizado	ΔH → Carga (m)
	→ Línea de trasiego de medio de cultivo y producto terminado	
	→ Alimentación del sistema	

Anexo 11. Hoja de chequeo de la campaña de biorremediación en “Cayo Santa María”. Fuente: Elaboración propia.

Producción de BIOIL-FC en “Cayo Santa María”														CM (10 <sup>8</sup> Cel/mL)	pH	Prod (m <sup>3</sup> )
Días	Nº lotes	Operaciones														
		Fermentación		Extracción		Reaprovisionamiento		Transporte		Aplicación		Regreso				
T <sub>I</sub>	T <sub>F</sub>	T <sub>I</sub>	T <sub>F</sub>	T <sub>I</sub>	T <sub>F</sub>	T <sub>I</sub>	T <sub>F</sub>	T <sub>I</sub>	T <sub>F</sub>	T <sub>I</sub>	T <sub>I</sub>	T <sub>I</sub>	T <sub>F</sub>			
Viernes	Bebé 1	1:32 am	3:45 pm	4:23 pm <sup>(1)</sup>	4:24 pm	No se realizan estas operaciones por ser un escalado a 1 m <sup>3</sup>								1		
Vie/Sáb	Bebé 2	9:54 pm	7:30 am	7:58 am	8:04 am	No se realizan estas operaciones por ser un escalado a 1 m <sup>3</sup>								1		
Vie/Sáb	1	4:20 pm	12:00 am <sup>(2)</sup>	12:32 am	12:36 am	12:56 am	1:13 am <sup>(3)</sup>	No se toman en cuenta estos tiempos, pues la aplicación del bioproducto fue realizada prácticamente "in situ"	1:01 am	1:12 am	No se toman en cuenta estos tiempos, pues la aplicación del bioproducto fue realizada prácticamente "in situ"			4,5		
Sábado	2*	1:13 am	2:40 am	2:52 am	2:56 am <sup>(4)</sup>	3:15 am	3:20 am		3:16 am	3:24 am		4,5				
Sábado	3*	3:20 am	7:00 am	7:06 am <sup>(5)</sup>	7:40 am	7:45 am <sup>(6)</sup>	8:23 am		7:52 am	7:59 am		4,1				
Sábado	4	7:59 am	9:35 am	9:47 am <sup>(7)</sup>	10:02 am	10:07 am	10:19 am		10:17 am	10:25 am		4,4				
Sábado	5	10:19 am	11:45 am	11:54 am	12:00 pm	12:10 pm	12:20 pm		12:12 pm	12:22 pm		4,5				
Sábado	6	12:20 pm	1:45 pm	1:53 pm	2:00 pm	2:02 pm	2:15 pm		2:10 pm	2:18 pm		4,5				
Sábado	7	2:20 pm	3:30 pm	3:39 pm	3:44 pm <sup>(8)</sup>	3:42 pm	3:55 pm		3:58 pm	4:08 pm		4,5				
Sábado	8	3:55 pm	4:55 pm	4:59 pm	5:05 pm <sup>(9)</sup>	5:05 pm	5:15 pm		5:20 pm	5:30 pm		4,5				
Sábado	9	5:15 pm	6:45 pm	6:49 pm	6:55 pm	6:55 pm	7:09 pm		7:06 pm	7:14 pm		4,5				
Sábado	10	7:09 pm	8:30 pm	8:38 pm	8:45 pm	8:46 pm	9:03 pm		8:47 pm	8:58 pm		4,5				
Sábado	11	9:03 pm	10:00 pm	10:10 pm	10:15 pm	10:15 pm	10:35 pm		10:22 pm	10:35 pm		4,5				
Sábado	12	10:35 pm	11:25 pm	11:37 am	11:43 pm	11:40 pm	12:02 am		11:49 pm	11:58 pm		4,5				
Domingo	13	12:03 am	1:05 am	1:06 am	1:18 am	1:16 am	1:36 am		1:26 am	1:29 am <sup>(10)</sup>		4,5				
Domingo	14	1:36 am	2:36 am	2:41 am	2:47 am	2:45 am	3:13 am		2:55 am	2:59 am <sup>(10)</sup>		4,5				
Domingo	15	3:13 am	4:20 am	4:51 am	4:55 am	5:01 am	5:36 am <sup>(11)</sup>		5:15 am	5:25 am		4,5				
Domingo	16	5:36 am	6:30 am	6:38 am	6:45 am	6:46 am	6:56 am		6:49 am	7:01 am		4,5				
Domingo	17	6:56 am	7:45 am	7:51 am	7:58 am	7:58 am	8:13 am		8:19 am	8:26 am		4,5				
Domingo	18	8:13 am	9:15 am	9:23 am	9:29 am	9:30 am	9:42 am		9:39 am	9:50 am		4,5				
Domingo	19	9:42 am	10:20 am	10:32 am	10:36 am	10:37 am	10:52 am		10:53 am	11:10 am		4,5				
Domingo	20	10:52 am	11:52 am	11:55 am <sup>(12)</sup>	12:02 pm	No procede			12:19 pm	12:32 pm		6				
Domingo	21	No procede		12:33 pm	12:39 pm	No procede		12:58 pm	1:15 pm <sup>(13)</sup>	6						
Producción total (m <sup>3</sup> )													97			

Observaciones, fallos y desperdicios
(1) Extracción del bebé con el carro de bombero, se retrasa por necesidad de dejar fluido en el sistema del carro (8 min de pérdida)
(2) Atraso de 20 min de los bomberos, se recupera una tanqueta de 20 L del residual de las mangueras
(3) Se demora la estiba porque la estiba de materias primas no estaba completa y hubo que volver a estibar
(4) Se botan aproximadamente 100 L de BIOIL-FC porque el cheque de la manguera de extracción se quedó enganchada
(5) Parada de 33 min debido a un fallo en la succión del Bombero (Aire en las tuberías), bastante desperdicio de bioproducto se aproxima a medio m <sup>3</sup>
(6) Demora en el aprovisionamiento por interferencia con la inoculación con el segundo Bebé, además interfiere la operación del montacargas otro equipo pesado ajeno al proyecto que trabaja en el área
(7) Fallo con la succión del equipo debido a mala manipulación de las válvulas
(8) Se desperdician 20 L por haber una sola cubeta, en cada lote se recuperan 100 L aproximadamente lo que conlleva a retrabajo
(9) Se desperdiciaron 15 L de bioproducto, ya que el chorro desplazó las cubetas de recolección
(10) La aplicación fue realizada con el monitor del bombero que posee mucho más presión
(11) Fallo en el cerrado de las válvulas que provoca una pérdida de tiempo considerable
(12) Fallo del sistema de succión del bombero 10 minutos (cambio de operador del carro)
(13) Se extravió el walking-talking del bomber
* Los viajes 2 y 3 se realizaron con la pila 4878 los restantes con la paila 4880
**Se estima la el volumen extraído a partir del reaprovisionamiento puesto que no fue registrado por distracción

**Anexo 12. Supuestos analizados para los tiempos de duración de los subprocesos de la campaña de biorremediación. Fuente: Elaboración propia.**

**Apartado 1. Supuestos de aleatoriedad y normalidad de la muestra para el tiempo de fermentación.**

En este caso se registran 19 observaciones, se excluye el primer lote de la fermentación por representar además de la fase exponencial, las de latencia y aceleración positiva del modelo de crecimiento bacteriano.

**Pruebas de bondad de ajuste para las observaciones**

*Prueba K-S*

	<i>Normal</i>
DMAS	0.247561
DMENOS	0.192984
DN	0.247561
Valor-P	0.194898

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que el *tiempo de fermentación* proviene de una distribución normal con 95 % de confianza.

Basado en lo anterior se procede a comprobar la aleatoriedad de las observaciones. A continuación Se muestran los resúmenes de las pruebas realizadas:

**Prueba de aleatoriedad para las observaciones**

(1) Corridas arriba o abajo de la mediana

Mediana = 62.0

Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 6

Número esperado de corridas = 9.47059

Estadístico z para muestras grandes = 1.49372

Valor-P = 0.135249

(2) Corridas arriba y abajo

Número de corridas arriba y abajo = 11

Número esperado de corridas = 12.3333

Estadístico z para muestras grandes = 0.476731

Valor-P = 0.63355

### (3) Prueba Box-Pierce

Prueba basada en las primeras 6 autocorrelaciones

Estadístico de prueba para muestras grandes = 2.87186

Valor-P = 0.82475

En la primera el número de corridas es igual a 6, comparado con un valor esperado de 9.47059 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es mayor o igual que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95.0 % o mayor.

En la segunda prueba el número de corridas es igual a 11, comparado con un valor esperado de 12.3333 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es mayor o igual que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95.0 % o mayor.

En la tercera prueba puesto que el valor-P para esta prueba es mayor o igual que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95.0 % o mayor.

De acuerdo con lo analizado anteriormente se asume aleatoriedad y normalidad en los tiempos de fermentación.

## **Apartado 2. Supuestos de aleatoriedad y normalidad de la muestra para el tiempo de extracción.**

Primeramente se realiza la prueba de aleatoriedad a las observaciones, para lo que se muestran las salidas y su interpretación como sigue:

### **Prueba de aleatoriedad para las observaciones**

#### (1) Corridas arriba o abajo de la mediana

Mediana = 6.0

Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 10

Número esperado de corridas = 7.85714

Estadístico z para muestras grandes = 0.934667

Valor-P = 0.349958

#### (2) Corridas arriba y abajo

Número de corridas arriba y abajo = 12

Número esperado de corridas = 13.6667

Estadístico z para muestras grandes = 0.631683

Valor-P = 0.527592

### (3) Prueba Box-Pierce

Prueba basada en las primeras 7 autocorrelaciones

Estadístico de prueba para muestras grandes = 1.33765

Valor-P = 0.987405

En la primera prueba el número de corridas es igual a 10, comparado con un valor esperado de 7.85714 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es mayor o igual que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95.0 % o mayor.

En la segunda prueba el número de corridas es igual a 12, comparado con un valor esperado de 13.6667 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es mayor o igual que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95.0 % o mayor.

En la tercera prueba puesto que el valor-P para esta prueba es mayor o igual que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95.0 % o mayor.

De acuerdo al análisis realizado se puede concluir que las observaciones presentan un comportamiento aleatorio.

### Prueba de bondad de ajuste para las observaciones

#### Prueba Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DMAS	0.406406
DMENOS	0.280093
DN	0.406406
Valor-P	0.0019424

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es menor a 0.05, se puede rechazar la idea de que *tiempo de extracción* proviene de una distribución normal con 95 % de confianza.

Al no seguir los datos distribución normal, se verifica la existencia o no de valores aberrantes que puedan estar incidiendo en la normalidad de los datos, según la identificación de valores

atípicos. A continuación se presenta el resumen de la prueba y posteriormente sus consideraciones.

*Valores Ordenados*

		Valores Estudentizados	Valores Estudentizados	Modificados
Fila	Valor	Sin Supresión	Con Supresión	Valor-Z DAM
2	4.0	-0.582562	-0.601585	-1.349
19	4.0	-0.582562	-0.601585	-1.349
15	4.0	-0.582562	-0.601585	-1.349
1	4.0	-0.582562	-0.601585	-1.349
11	5.0	-0.429639	-0.441845	-0.6745
...				
17	7.0	-0.123794	-0.126744	0.6745
16	7.0	-0.123794	-0.126744	0.6745
13	12.0	0.640818	0.663008	4.047
4	15.0	1.09959	1.16284	6.0705
3	34.0	4.00511	10.3167	18.886

La tabla anterior en la mitad de la salida muestra los valores más pequeños y los más grandes del *tiempo de extracción*. Los valores Studentizados miden a cuántas desviaciones estándar se encuentra cada valor de la media muestral de 7.80952. Los valores más extremos se encuentran en las filas 3 y 4. Puesto que el valor-P para la prueba de Grubb ( $9.90646E-8$ ) es menor que 0.05, estos valores son aberrantes significativos con un nivel de significancia del 5.0 %, asumiendo que todos los demás valores siguen una distribución normal.

Para corroborar el supuesto de normalidad anteriormente expuesto, se le realiza a los datos la prueba de bondad de ajuste nuevamente para comprobar su normalidad, en este caso también se realiza la prueba Kolmogorov-Smirnov (K-S) por tratarse de menos de 30 observaciones (19 excluyendo los valores aberrantes).

**Prueba de bondad de ajuste para el tiempo de extracción corregido**

*Prueba Kolmogorov-Smirnov*

	Normal
DMAS	0.247677
DMENOS	0.172607
DN	0.247677
Valor-P	0.194471

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que las observaciones provienen de una distribución normal con 95 % de confianza.

De acuerdo con lo analizado anteriormente se asume aleatoriedad y normalidad en los tiempos de extracción.

### **Apartado 3. Supuestos de aleatoriedad y normalidad de la muestra para el tiempo de reaprovisionamiento.**

#### **Prueba de aleatoriedad para las observaciones**

(1) Corridas arriba o abajo de la mediana

Mediana = 15.0

Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 6

Número esperado de corridas = 9.47059

Estadístico z para muestras grandes = 1.49372

Valor-P = 0.135249

(2) Corridas arriba y abajo

Número de corridas arriba y abajo = 12

Número esperado de corridas = 12.3333

Estadístico z para muestras grandes = -0.0953463

Valor-P = 1.0

(3) Prueba Box-Pierce

Prueba basada en las primeras 6 autocorrelaciones

Estadístico de prueba para muestras grandes = 1.28459

Valor-P = 0.972501

En la primera prueba el número de corridas es igual a 6, comparado con un valor esperado de 9.47059 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es mayor o igual que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95.0 % o mayor.

En la segunda prueba el número de corridas es igual a 12, comparado con un valor esperado de 12.3333 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es mayor o igual que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95.0 % o mayor.

En la tercera prueba puesto que el valor-P para esta prueba es mayor o igual que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95.0 % o mayor.

De acuerdo al análisis realizado se puede concluir que las observaciones presentan un comportamiento aleatorio.

### **Prueba de bondad de ajuste para las observaciones**

#### *Prueba Kolmogorov-Smirnov*

	<i>Normal</i>
DMAS	0.191573
DMENOS	0.148852
DN	0.191573
Valor-P	0.499636

La tabla anterior expresa los resultados de la prueba realizada para determinar si *tiempo de reaprovisionamiento* puede modelarse adecuadamente con una distribución normal.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que las observaciones provienen de una distribución normal con 95 % de confianza.

De acuerdo con lo analizado anteriormente se asume aleatoriedad y normalidad en los tiempos de reaprovisionamiento.

### **Apartado 4. Supuestos de aleatoriedad y normalidad de la muestra para el tiempo de aplicación.**

Primeramente se realiza la prueba de aleatoriedad a las observaciones, para lo que se muestran las salidas y su interpretación como sigue:

#### **Prueba de aleatoriedad para las observaciones**

(1) Corridas arriba o abajo de la mediana

Mediana = 10.0

Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 7

Número esperado de corridas = 9.47059

Estadístico z para muestras grandes = 0.990881

Valor-P = 0.321742

(2) Corridas arriba y abajo

Número de corridas arriba y abajo = 12

Número esperado de corridas = 13.6667

Estadístico z para muestras grandes = 0.631683

Valor-P = 0.527592

(3) Prueba Box-Pierce

Prueba basada en las primeras 7 autocorrelaciones

Estadístico de prueba para muestras grandes = 6.78933

Valor-P = 0.45114

En la primera prueba el número de corridas es igual a 7, comparado con un valor esperado de 9.47059 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es mayor o igual que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95.0 % o mayor.

En la segunda prueba el número de corridas es igual a 12, comparado con un valor esperado de 13.6667 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es mayor o igual que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95.0 % o mayor.

En la tercera prueba puesto que el valor-P para esta prueba es mayor o igual que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95.0 % o mayor.

De acuerdo al análisis realizado se puede concluir que las observaciones presentan un comportamiento aleatorio.

**Prueba de bondad de ajuste para las observaciones**

*Prueba Kolmogorov-Smirnov*

	<i>Normal</i>
DMAS	0.133298
DMENOS	0.110754
DN	0.133298
Valor-P	0.849602

La tabla anterior enuncia los resultados de la prueba realizada para determinar si *tiempo de aplicación* puede modelarse adecuadamente con una distribución normal.

Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que las observaciones provienen de una distribución normal con 95 % de confianza.

De acuerdo con lo analizado anteriormente se asume aleatoriedad y normalidad en los tiempos de aplicación.

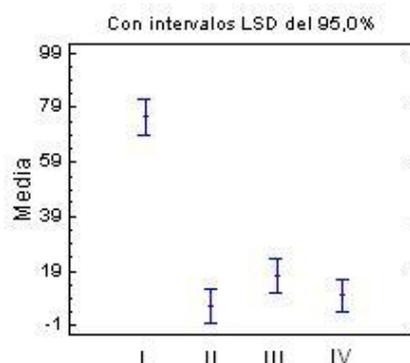
**Apartado 5. Comparación de medias para los subprocesos de fermentación, extracción, reaprovisionamiento y aplicación.**

Con el objetivo de determinar cuál de los subprocesos, que componen la campaña de biorremediación, es el de mayor duración ( $t_{m\acute{a}x}$ ) para poder calcular el tipo de producción que sigue el proceso.

**Comparación de varias muestras**

N°	Muestra	Recuento	Media	Sigma
I	Tiempo de fermentación corregido	19	75.4737	38.4597
II	Tiempo de extracción corregido	19	6.05263	1.80966
III	Tiempo de reaprovisionamiento	19	17.1579	8.55871
IV	Tiempo de aplicación	21	9.85714	3.48261
		78	26.6923	34.0417

El siguiente gráfico muestra las medias de las 4 columnas de datos. También muestra un intervalo alrededor de cada media. Los intervalos mostrados actualmente están basados en el procedimiento de la diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Están contruidos de tal manera que, si dos medias son iguales, sus intervalos se traslaparán un 95 % de las veces. Cualquier par de intervalos que no se traslapen horizontalmente corresponden a pares de medias que tienen una diferencia estadísticamente significativa.



Del análisis anterior se desprende que la operación de mayor duración es la fermentación y es la única que presenta diferencias significativas con respecto a las medias de las demás operaciones.

**Anexo 13. Supuestos de aleatoriedad y normalidad para el tiempo de duración de un lote de producción en la campaña de biorremediación. Fuente: Elaboración propia.**

Primeramente se realiza la prueba de aleatoriedad a las observaciones, para lo que se muestran las salidas y su interpretación.

**Prueba de aleatoriedad para las observaciones**

(1) Corridas arriba o abajo de la mediana

Mediana = 116.0

Número de corridas arriba o abajo de la mediana = 7

Número esperado de corridas = 11.0

Estadístico z para muestras grandes = 1.60814

Valor-P = 0.107804

(2) Corridas arriba y abajo

Número de corridas arriba y abajo = 10

Número esperado de corridas = 13.0

Estadístico z para muestras grandes = 1.39032

Valor-P = 0.164431

(3) Prueba Box-Pierce

Prueba basada en las primeras 6 autocorrelaciones

Estadístico de prueba para muestras grandes = 3.12216

Valor-P = 0.793366

En la primera prueba el número de corridas es igual a 7, comparado con un valor esperado de 11.0 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es mayor o igual que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95.0 % o mayor.

En la segunda prueba el número de corridas es igual a 10, comparado con un valor esperado de 13.0 si la secuencia fuera aleatoria. Puesto que el valor-P para esta prueba es mayor o igual que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95.0 % o mayor.

En la tercera prueba puesto que el valor-P para esta prueba es mayor o igual que 0.05, no se puede rechazar la hipótesis de que la serie es aleatoria, con un nivel de confianza del 95.0 % o mayor.

De acuerdo al análisis realizado se puede concluir que las observaciones presentan un comportamiento aleatorio.

### Prueba de bondad de ajuste para las observaciones

#### Prueba Kolmogorov-Smirnov

	<i>Normal</i>
DMAS	0.379832
DMENOS	0.295635
DN	0.379832
Valor-P	<b>0.00623398</b>

Esta tabla muestra los resultados de la prueba realizada para determinar si *tiempo de un lote de producción* puede modelarse adecuadamente con una distribución normal.

Debido a que el valor-P de la prueba realizada es menor a 0.05, se puede rechazar la idea de que las observaciones provienen de una distribución normal con 95 % de confianza.

Se verifica la existencia o no de valores aberrantes que puedan estar incidiendo en la normalidad de los datos, según la identificación de valores atípicos. A continuación se muestra el resumen de la prueba y posteriormente sus consideraciones.

#### Valores Ordenados

		Valores Estudentizados	Valores Estudentizados	Modificados
Fila	Valor	Sin Supresión	Con Supresión	Valor-Z DAM
16	85.0	-0.536992	-0.554626	-0.889766
12	87.0	-0.517727	-0.534424	-0.832362
19	88.0	-0.508095	-0.524335	-0.80366
17	90.0	-0.488831	-0.504183	-0.746255
11	92.0	-0.469567	-0.484063	-0.688851
...				
15	143.0	0.0216723	0.0222048	0.774957
20	143.0	0.0216723	0.0222048	0.774957
4	146.0	0.0505687	0.0518142	0.861064
3	303.0	1.56281	1.72192	<b>5.3673</b>
<b>1</b>	<b>533.0</b>	<b>3.77821</b>	8.46433	<b>11.9688</b>

La tabla en la mitad de la salida muestra los valores más pequeños y los más grandes de *tiempo de un lote de producción*. Los valores estudentizados miden a cuántas desviaciones estándar se encuentra cada valor de la media muestral de 140.75. Los valores más extremos se encuentran en las filas 1 y 3, el cual es 3.77821 desviaciones estándar de la media. Puesto que el valor-P para la prueba de Grubb (**0.00000315354**) es menor que 0.05, estos valores son

aberrantes significativos con un nivel de significancia del 5.0 %, asumiendo que todos los demás valores siguen una distribución normal.

Para corroborar el supuesto de normalidad anteriormente expuesto, se le realiza a los datos prueba de bondad de ajuste nuevamente para comprobar su normalidad, en este caso también se incluye la prueba Kolmogorov-Smirnov (K-S) por tratarse de menos de 30 observaciones (18 excluyendo los valores aberrantes).

### **Prueba de bondad de ajuste para el tiempo medio que dura un lote de producción**

#### *Prueba Kolmogorov-Smirnov*

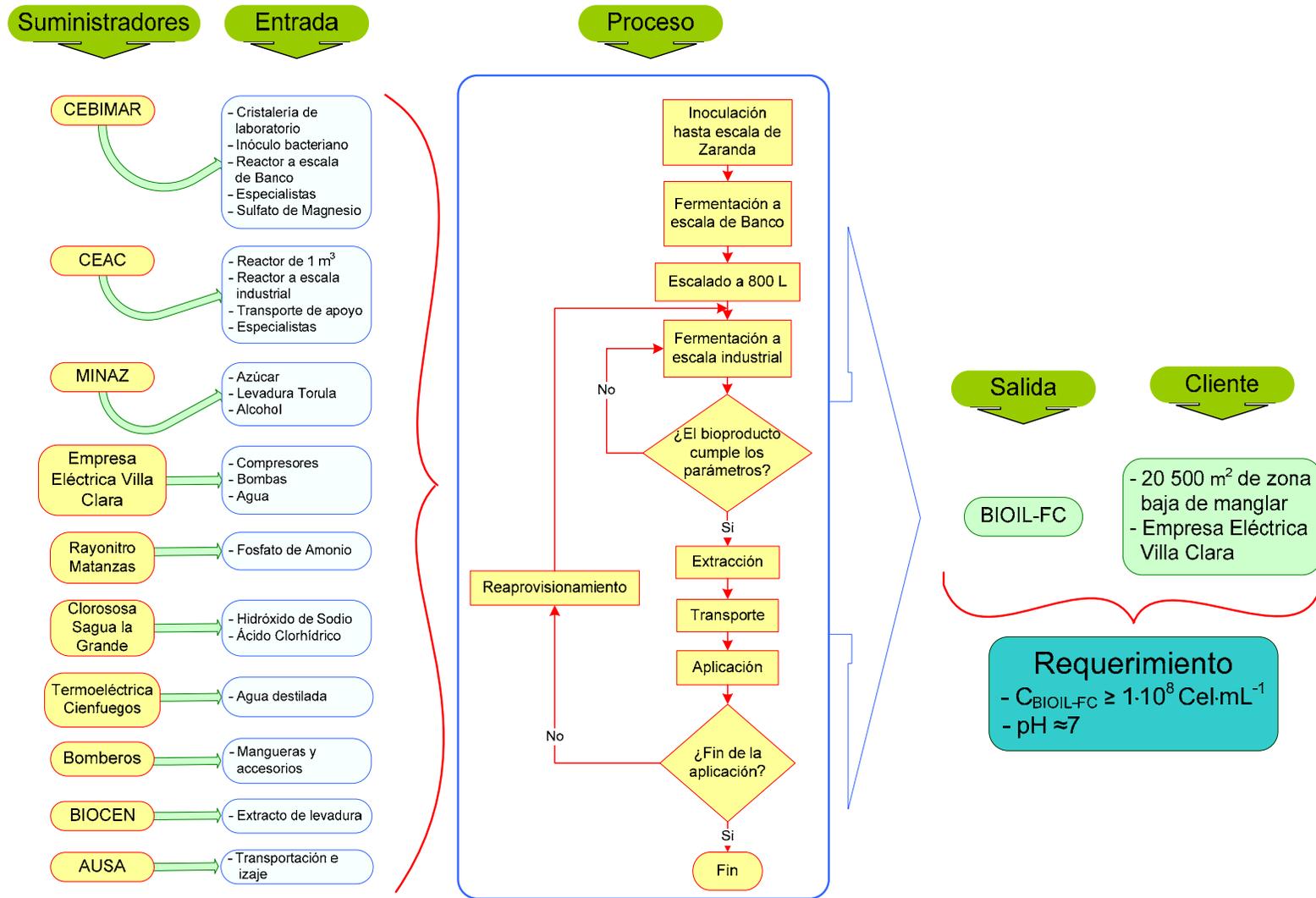
	<i>Normal</i>
DMAS	0.230836
DMENOS	0.117854
DN	0.230836
Valor-P	0.294188

Las tablas anteriores muestran los resultados de diversas pruebas realizadas para determinar si *tiempo de un lote de producción corregido* puede modelarse adecuadamente con una distribución normal.

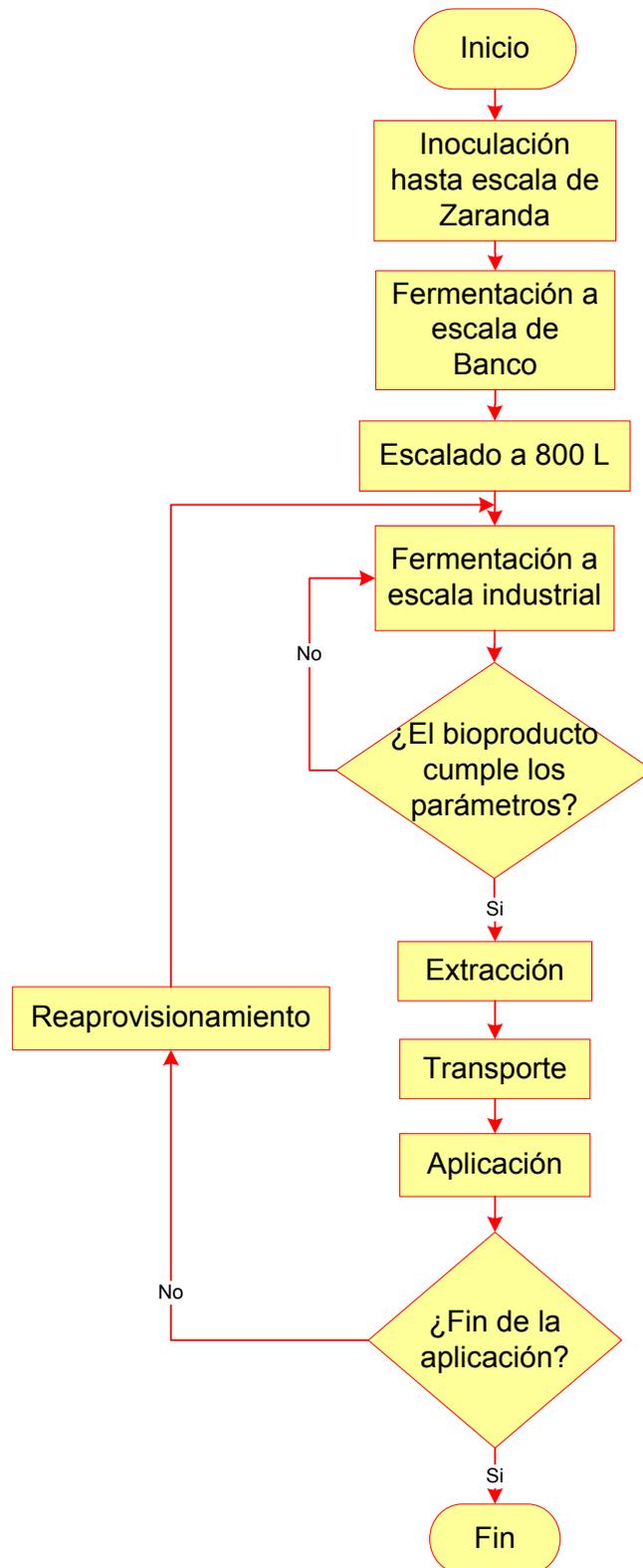
Debido a que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0.05, no se puede rechazar la idea de que las observaciones provienen de una distribución normal con 95 % de confianza.

De acuerdo con lo analizado anteriormente se asume aleatoriedad y normalidad en los datos.

Anexo14. Diagrama SIPOC perteneciente a la campaña de biorremediación de “Cayo Santa María”. Fuente: Elaboración propia.



Anexo 15. Diagrama de flujo general para una campaña de biorremediación. Fuente: Elaboración propia.



**Anexo 16. Parámetros básicos del crecimiento microbiano. Fuente: (Núñez, 2010).**

El modelo matemático más simple que intenta describir el crecimiento de una población es el conocido como "Modelo Exponencial" o modelo del crecimiento no restringido (Pirt, 1975, citado por Núñez (2010)), un modelo no estructurado y no segregado.

Si todos los requerimientos para el crecimiento de una población celular se cumplen, entonces durante un intervalo infinitesimal de tiempo (dt) se puede esperar que un incremento infinitesimal de la biomasa (dX) sea proporcional a la concentración de biomasa (X) en ese intervalo de tiempo es decir:

$$dX = \mu X dt \quad [1]$$

O lo que es lo mismo:

$$\frac{dX}{dt} = \mu X \quad [2]$$

La ecuación (2) representa la velocidad de incremento de la población en tanto que la constante de proporcionalidad  $\mu$  es un parámetro que expresa la velocidad específica de crecimiento definida como:

$$\mu = \frac{1}{X} \left( \frac{dX}{dt} \right) \quad [3]$$

La medida básica del crecimiento de la población es la velocidad específica de crecimiento definida como: **la habilidad que tiene un microorganismo promedio de la población para crecer y multiplicarse**, expresada en unidades de  $t^{-1}$ . La  $\mu$  es un parámetro complejo y su valor varía durante casi todo el tiempo de cultivo. Cuando las condiciones son constantes y el crecimiento balanceado, la  $\mu$  puede considerarse constante y la ecuación [2] puede integrarse analíticamente considerando que a  $t = 0$ , la concentración de biomasa es la concentración inicial  $X = X_0$  entonces:

$$\int_{x_0}^x \frac{1}{x} dx = \mu \int_0^t dt \quad [4]$$

$$\ln \left( \frac{X}{X_0} \right) = \mu t \quad [5]$$

$$X(t) = X_0 e^{\mu t} \quad [6]$$

Donde:

X (t): Biomasa para el instante t

X<sub>0</sub>: Biomasa inicial

t: Tiempo

μ: Velocidad de crecimiento específica para la fase exponencial

**Nota:**

Se conoce por datos históricos que para el BIOIL-FC.

$$\mu_{(\mu)} \approx 0.3$$

$$\sigma_{(\mu)} = 0.5$$

Los datos de la campaña de biorremediación en “Cayo Santa María” son:

$$\text{Volumen efectivo (X)} = 10 \text{ m}^3$$

$$\text{Extracción promedio} = 4.5 \text{ m}^3$$

X<sub>0</sub> del tercer lote a fermentar = 5.9 m<sup>3</sup>, ya que solo se extrajo aproximadamente 4.1 m<sup>3</sup>, debido a un fallo en la succión del carro tanque (aire en las tuberías) y hubo bastante desperdicio de bioproducto que se aproxima a medio m<sup>3</sup>.

$$X_0 \text{ de los restantes lotes} = 5.5 \text{ m}^3$$

Sustituyendo X<sub>0</sub> del tercer lote a fermentar directamente en la ecuación [5] se obtiene:

$$t = 106 \text{ minutos}$$

Sustituyendo X<sub>0</sub> de los restantes lote directamente en la ecuación [5] se obtiene:

$$t = 120 \text{ minutos}$$

**Anexo 17. Determinación de los fallos potenciales. Fuente: Elaboración propia.**

<b>Función del proceso</b>	<b>Modos de Fallos</b>	<b>Efectos</b>	<b>SEV</b>	<b>Causas</b>	<b>OCC</b>	<b>DET</b>	<b>NPR</b>
Escalado, producción y aplicación industrial	Aumento del índice de accidentalidad	Cansancio de los trabajadores	6	Inexistencia de un régimen de trabajo y descanso	3	4	72
<b>Escalado, producción y aplicación industrial</b>	<b>Interferencia de operaciones e inadecuado aprovechamiento de las capacidades</b>	<b>Desorganización del trabajo</b>	<b>7</b>	<b>Insuficiente planificación</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>648</b>
<b>Extracción</b>	<b>Falta de aleatoriedad en las mediciones</b>	<b>Mediciones inexactas</b>	<b>8</b>	<b>Inexistencia de equipos de medición</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>720</b>
Fermentación	Capacidad de reacción limitada	Variabilidad en el crecimiento bacteriano y en los tiempos de fermentación	4	Heterogeneidad de materias primas industriales	8	9	288
Escalado, producción y aplicación industrial	Afectada la calidad del servicio	Insumos restringidos	3	Proveedores limitados	7	6	126
Escalado y producción. Monitoreo y control de la fermentación	Decisión desacertada	Diferencia de conocimientos	2	Falta de capacitación	7	3	42
Fermentación industrial	Retardos en el crecimiento bacteriano	Parámetros de microclima laboral no controlados	3	Exposición a la intemperie	9	7	189
<b>Escalado, producción y aplicación industrial</b>	<b>Pérdidas de tiempo y desechos de producto</b>	<b>Interrupción de la operación y salideros</b>	<b>7</b>	<b>Problemas con el sistema de extracción</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>392</b>

**Anexo 18. Tasas utilizadas en el AMEF. Fuente: (Villa and Pons, 2006).**

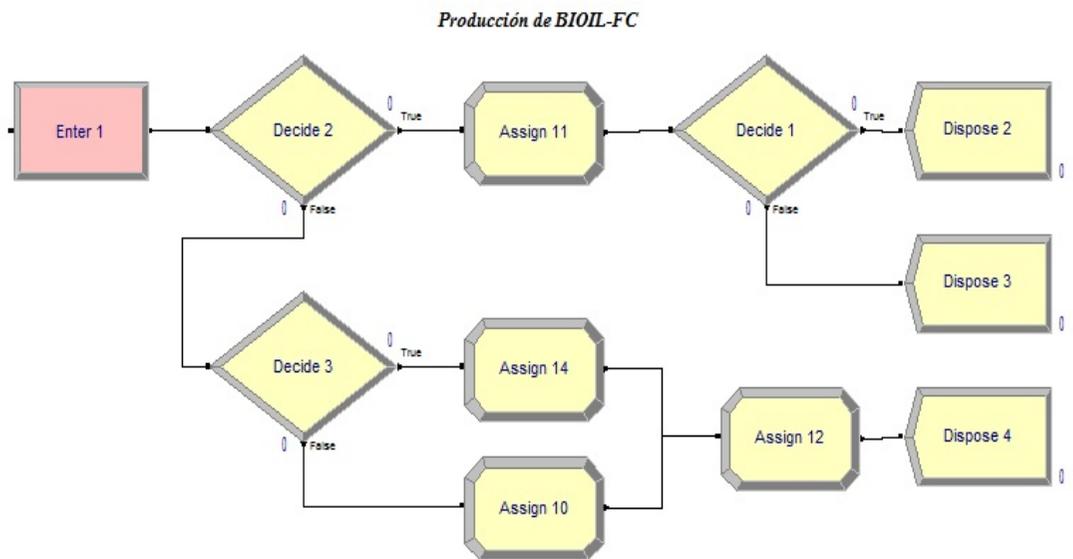
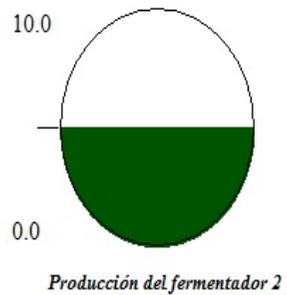
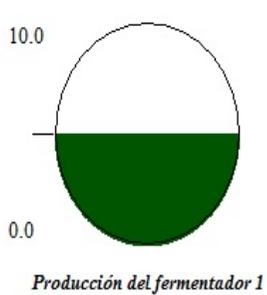
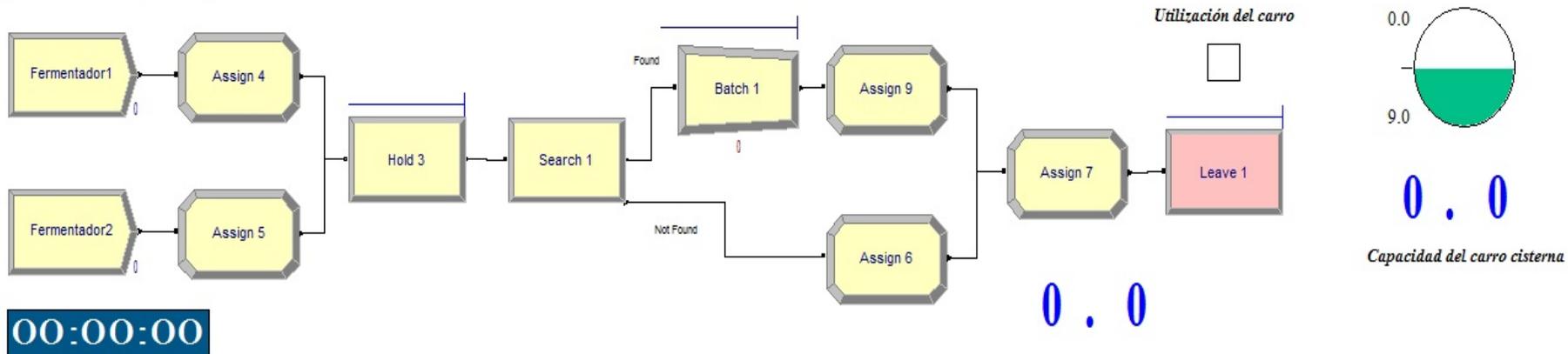
<b>Tasas</b>	<b>Grados de Severidad</b>
1	El cliente no detecta el efecto adverso o este es insignificante.
2	El cliente probablemente experimenta una ligera molestia.
3	El cliente experimentará una molestia debido a una ligera degradación del desempeño.
4	Insatisfacción del cliente debido a reducción del desempeño.
5	El cliente no se siente cómodo o su productividad se reduce por la continua degradación del desempeño.
6	Quejan de garantía de reparación o defecto significativo de fabricación o ensamble.
7	Alto grado de insatisfacción del cliente debido a fallo de componente sin una pérdida completa de la función. La productividad se ve impactada por altos niveles de desecho o retrabajo.
8	Muy alto grado de insatisfacción debido a la pérdida de función sin un negativo impacto sobre seguridad o relaciones del Gobierno.
9	Los clientes se encuentran en peligro debido al efecto adverso sobre la ejecución segura del sistema con precaución antes del fallo o violaciones de leyes del gobierno.
10	El cliente se encuentra en peligro debido al efecto adverso sobre la ejecución segura del sistema sin precaución antes de la falla o violación de regulaciones del gobierno.

<b>Tasas</b>	<b>Probabilidad de Ocurrencia (capacidad desconocida)</b>
1	La probabilidad de ocurrencia es remota.
2	Baja tasa de fallo con documentación de apoyo.
3	Baja tasa de fallo sin documentación de apoyo.
4	Fallos ocasionales.
5	Tasa de fallo Relativamente moderada con documentación de soporte.
6	Tasa de fallo moderada sin documentación de soporte
7	Tasa de fallo relativamente alta con documentación de soporte.
8	Tasa alta de fallo sin documentación de soporte.
9	El fallo es casi cierto basado en datos de garantía o datos de vida significativo.
10	Fallo asegurado basado en datos de garantía o datos de vida significativos.

<b>Tasas</b>	<b>Habilidad para Detectar (capacidad desconocida)</b>
1	Seguro que el modo potencial será hallado o prevenido antes de llegar al siguiente cliente
2	Casi seguro que el modo potencial será hallado o prevenido antes de llegar al siguiente cliente.
3	Baja probabilidad de que el fallo potencial llegue al siguiente cliente sin ser detectado.
4	Los Controles pueden detectar o prevenir que el fallo potencial llegue al siguiente.
5	Moderada probabilidad de que el fallo potencial llegue al siguiente cliente.
6	Los controles no son adecuados para prevenir o detectar el fallo potencial antes de que llegue al siguiente cliente.
7	Baja probabilidad de que el fallo potencial sea detectado o prevenido antes de que llegue al siguiente cliente.
8	Muy baja probabilidad de que el fallo potencial sea detectado o prevenido antes de que llegue al siguiente cliente.
9	Los controles actuales probablemente no detectaran el fallo potencial.
10	Certidumbre absoluta de que los controles actuales no detectaran el fallo potencial.

Anexo 19. Imagen del modelo de simulación generado. Fuente: Elaboración propia.

4 November, 2011



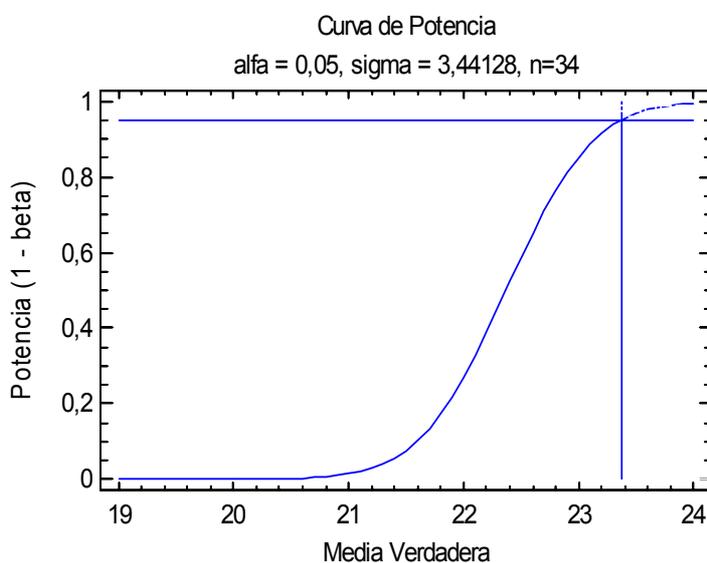
**Anexo 20. Confiabilidad de los resultados arrojados por la simulación. Fuente: Elaboración propia.**

**Apartado 1. Inferencia relativa a la media de los tiempos de la campaña de biorremediación, a partir de los datos arrojados por la simulación.**

Se desea emitir un criterio acerca de la confiabilidad de los resultados arrojados por la simulación.

Como primer paso se realizan 5 réplicas en la simulación. Se estiman la media y la desviación estándar muestrales. Con estos parámetros se prosigue a determinar el tamaño de muestra necesario, para estimar los siguientes parámetros con media normal:

Parámetros	Valores
Potencia deseada	95 %
Riesgo alfa	5.0 %
Tipo de alternativa	Mayor que
Sigma hipotética (por estimar)	3.44128 horas
Media hipotética	21.368 horas
Media de contraste	24 horas



El tamaño de muestra requerido es  $n = 34$  réplicas. En la figura anterior puede corroborarse la potencia del análisis. En la tabla siguiente se muestran los valores de las 34 observaciones generadas por la simulación con sus parámetros estimados de media, mediana y desviación estándar correspondientes.

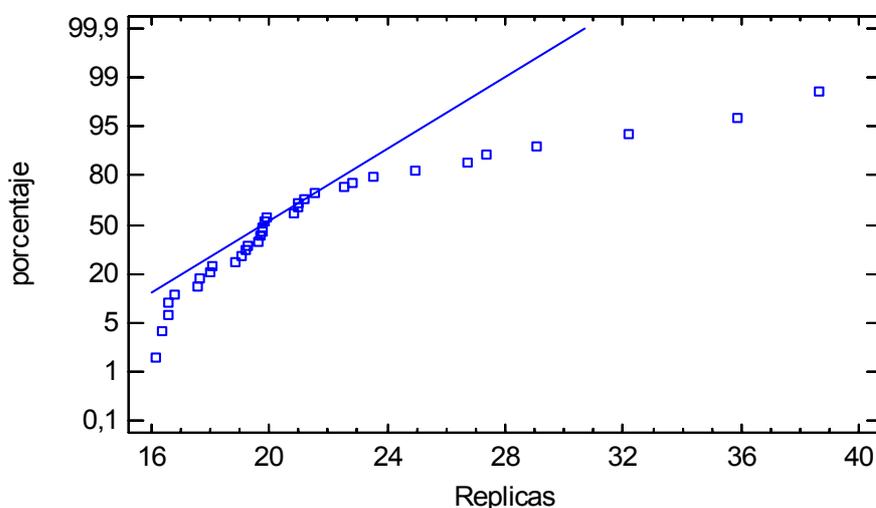
*Observaciones de la simulación*

Nº	Tiempo (h)								
1	19,05	8	21,19	15	21,59	22	23,51	29	16,58
2	19,64	9	18,89	16	19,94	23	16,17	30	35,83
3	27,39	10	18,01	17	19,83	24	16,41	31	19,75
4	19,75	11	17,58	18	20,87	25	22,52	32	19,2
5	21,01	12	24,96	19	38,65	26	32,2	33	19,26

6	19,71	13	18,06	20	17,64	27	26,71	34	16,62
7	16,83	14	20,98	21	22,81	28	29,03		
<b>Media muestral</b>									<b>21,71</b>
<b>Mediana muestral</b>									<b>19,79</b>
<b>Desviación estándar</b>									<b>5,42</b>

Se procede a contrastar la media muestral (para  $n = 34$ ), contra el valor de 24 horas, mediante una prueba de hipótesis no paramétrica de comparación de medias con  $\alpha = 0.05$ , debido a que los datos no se ajustan a una distribución normal como puede verse en el siguiente gráfico.

Gráfico de Probabilidad Normal



*Pruebas de hipótesis no paramétricas para las réplicas*

Décimas	Valor-P	Decisión
Prueba-t	0,99	No se rechaza la hipótesis nula
Prueba de los signos	0,99	No se rechaza la hipótesis nula
Prueba de rangos con signo	0,99	No se rechaza la hipótesis nula

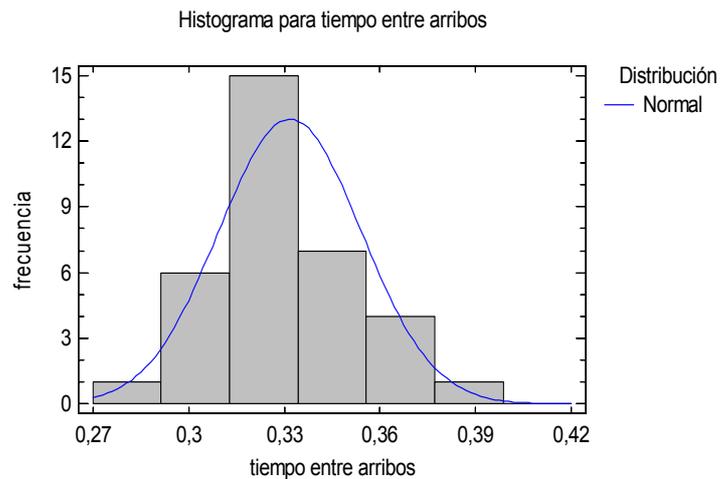
Se evidencia con las pruebas realizadas que con la inclusión de un nuevo fermentador se reduce el tiempo de la campaña de biorremediación a menos de 24 horas con un nivel de confianza del 95 %. Sujeto a las condiciones del caso en estudio

El intervalo de confianza estimado para la media con significación de 0.05 es [19.8189; 23.6029] horas, con un valor nominal de 21.7109 horas.

## Apartado 2: Análisis correspondiente al tiempo entre arribos.

En esta sección se verifica si la media de los tiempos entre arribos con las 34 réplicas realizadas en la simulación sigue una distribución normal. Para estimar entonces la media, con el fin de calcular nuevamente la capacidad de reacción del sistema productivo y comprobar si los efectos de la implantación de la medida propuesta. A continuación se muestran los datos arrojados del análisis.

Parámetros	Valores
Media	0.3318 horas
Sigma	0.0224 horas
Valor-P	0,2292



Se corrobora la normalidad de los datos a través de la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov-Smirnov como se evidencia en el histograma de frecuencia y en el valor-P de la prueba. Concluyendo que la media a utilizar es de 0.3318 horas aproximadamente 19.9 minutos como promedio para generar un lote de bioproducto.