

Implementación de un proceso de captación y de quema de Biogás, para el proceso de descarbonización del relleno sanitario enfocado en el biogás, en el Centro inteligente de Gestión Ecológica Guayabal (CIGEG) de la empresa Veolia de la Ciudad de Cúcuta, Norte de Santander con marco de trabajo ágil.

Miguel Angel Velasco Muñoz

Monografía Diplomado en Gestión Ágil para optar el título de Maestría en Dirección y Gestión de Proyectos

Director

MSc. MGP. Camilo José Castro Quijano

Magíster en Gestión de Proyectos

Co-directora:

Dolly Smith Flórez Moreno

Magister en Telemática

Magister en Redes y Sistemas de Comunicación

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones

Maestría en Dirección y Gestión de Proyectos

2026

Sistema de captación y combustión de biogás para descarbonización de Relleno Sanitario	2
--	---

Contenido

Introducción	6
1. Implementación de un proceso de captación y de quema de Biogás, para el proceso de descarbonización del relleno sanitario enfocado en el biogás, en el Centro inteligente de Gestión Ecológica Guayabal (CIGEG) de la empresa Veolia de la Ciudad de Cúcuta, Norte de Santander con marco de trabajo ágil.	9
1.1 Contextualización del Proyecto viabilizado	9
1.1.1 Organización Responsable	9
1.1.2 Alineación Estratégica Corporativa	9
1.1.3 Contexto Técnico y Ambiental	9
1.1.4 Contexto de Viabilidad del Proyecto	11
1.1.4.1 Viabilidad Técnica	11
1.2 Análisis del caso de negocio	13
1.2.1 Descripción del Proyecto	13
1.2.2 Justificación del Negocio	13
1.2.3 Capacidades y Metas	14
1.2.4 Componentes Principales del Sistema	15
1.2.5 Entregables Principales	15
1.2.6 Estructura Ágil del Proyecto	17
1.2.7 Stakeholders Clave	18
1.2.8 Restricciones Críticas	18
1.2.8 Supuestos Críticos	19
1.2.9 Identificación de Riesgos	19

Sistema de captación y combustión de biogás para descarbonización de Relleno Sanitario	3
1.2.10 Beneficios Esperados	24
1.2.11 Factores Críticos de Éxito	25
1.3 Análisis de pila de producto de alto nivel	25
1.3.1 Estructura de Épicas	25
1.3.2 Priorización del Backlog	26
1.3.3 Plan de Sprints	26
Detalle de Sprints:	26
1.3.3 Descripción de Cada Sprint	27
1.4 Análisis de historia de Usuario	31
1.4.1 Clasificación de Historias De Usuario	31
1.5 Planeación de Sprint Cero	35
1.5.1 Descripción	35
1.5.2 Product Backlog Inicial (Sprint 0)	36
1.5.3 Sprint Backlog — Historias y Tareas Técnicas	37
1.5.4. Definition Of Done Para Sprint 0	40
1.5.5. Entregables Esperados Del Sprint 0	41
1.5.6. Ceremonia Recomendada	41
1.5.7. Riesgos Identificados Para Sprint 0	41
1.5 Gestión y control del sprint del proyecto	42
1.5.1 Estructura de Sprints Después del Sprint 0	42
1.5.2 Indicadores de Desempeño del Sprint	43
1.5.3 Indicadores de Calidad	44
1.5.4 Indicadores de Riesgo	45

Sistema de captación y combustión de biogás para descarbonización de Relleno Sanitario	4
1.5.5 Reuniones y Ceremonias Ágiles	45
1.6 Prototipo de entregable	47
1.6.1 CATEGORÍAS DE ENTREGABLES	47
1.6.2 Entregables de Infraestructura (7)	47
1.6.3 Entregables Operacionales (2)	47
1.6.4 Entregables Ambientales (1)	47
2. Discusión (opcional)	48
3. Conclusiones	49
4. Acerca de los apéndices	50
Referencias	51

Lista de tablas

Tabla 1 Capacidades y Metas	14
Tabla 2 Descripción del Sprint	16
Tabla 3 Identificación de Riesgos	19
Tabla 4 El proyecto se organiza en 6 épicas principales con un total de 89 Story Points	25
Tabla 5 Detalles de Sprint	27
Tabla 6 Prioridad Crítica (16 User Stories - 40 Sp)	31
Tabla 7 Prioridad Alta (26 User Stories - 49 Sp)	32
Tabla 8 Descripción del Sprint 0	35
Tabla 9 Entregables Sprint 0	36
Tabla 10 Historias y Tareas Sprint Backlog	37
Tabla 11 Definition Of Done Para Sprint 0	40
Tabla 12 Descripción de Ceremonia	41
Tabla 13 Estructura del Sprint 0	51

Introducción

La gestión de proyectos de infraestructura ambiental en Colombia enfrenta desafíos significativos relacionados con la coordinación de múltiples disciplinas, la adaptabilidad a cambios en campo y la necesidad de cumplir con objetivos ambientales ambiciosos en plazos determinados. El Centro Inteligente de Gestión Ecológica Guayabal (CIGEG) de Veolia en Cúcuta requiere implementar un sistema de captación y quema de biogás para alcanzar la meta corporativa P70 de reducir el 70% de emisiones de Gases de Efecto Invernadero entre 2022 y 2027. Sin embargo, los métodos tradicionales de gestión de proyectos presentan limitaciones para adaptarse a las complejidades técnicas, regulatorias y operacionales que caracterizan este tipo de iniciativas. La falta de flexibilidad en la planificación inicial, la dificultad para incorporar cambios derivados de estudios de campo (como geoelectricos, fotogrametría y mediciones de chimeneas) y la necesidad de entregar valor incrementalmente generan riesgos de retrasos, sobrecostos y desalineación con los objetivos estratégicos. Por lo tanto, surge la necesidad de evaluar cómo las metodologías ágiles, específicamente Scrum, pueden optimizar la ejecución de este complejo proyecto.

La industria de gestión de residuos y descarbonización ha experimentado una transformación significativa en los últimos años. Veolia, como empresa líder en soluciones ambientales, ha establecido compromisos corporativos ambiciosos alineados con objetivos de sostenibilidad global. El proyecto de captación y quema de biogás del CIGEG representa una iniciativa estratégica que integra múltiples componentes técnicos: sistemas de captación con capacidad de 4.300 Nm³/h, infraestructura de quema con eficiencia $\geq 99,9\%$, y sistemas de monitoreo y control avanzados.

Históricamente, proyectos de esta envergadura han sido gestionados mediante metodologías predictivas, donde la planificación completa precede a la ejecución. Sin embargo, la naturaleza del CIGEG presenta características que desafían este enfoque: la necesidad de realizar estudios geoelectricos, fotogrametría con drone, mediciones de chimeneas actuales y replanteos en terreno genera información que debe incorporarse iterativamente en el diseño. El proyecto contempla tres sprints iniciales (Sprint 0, Sprint 1 y Sprint 2) con un presupuesto total de \$110 millones y la entrega de productos mínimos viables (PMV) que evolucionan desde versión 1.0 hasta 1.1, evidenciando una estructura ágil e incipiente.

Esta monografía tiene como propósito analizar la aplicación de metodologías ágiles, específicamente el marco Scrum, en la gestión del proyecto de captación y quema de biogás del CIGEG. Se busca demostrar cómo la adopción de prácticas ágiles—incluyendo sprints iterativos, productos mínimos viables, gestión de story points y equipos multidisciplinarios—permite optimizar la entrega de valor, mejorar la adaptabilidad a cambios en campo, reducir riesgos de sobrecostos y retrasos, y alinear la ejecución con los objetivos estratégicos corporativos de Veolia. Adicionalmente, se pretende establecer recomendaciones prácticas para la implementación efectiva de Scrum en proyectos de infraestructura ambiental complejos.

La fundamentación de esta investigación se sustenta en varios pilares como lo son la Complejidad del Proyecto ya que en el CIGEG se requiere la integración de sistemas de captación, quema, monitoreo y control, con restricciones técnicas rigurosas (temperatura 900-1.200°C, eficiencia $\geq 99,9\%$, presión de trabajo específica) y operacionales (24/7, disponibilidad $>90\%$). Esta complejidad multidimensional demanda un enfoque flexible que permita ajustes iterativos.

La Incertidumbre Técnica los estudios iniciales (geoelectricos, fotogrametría, mediciones de chimeneas) generan información que modifica el diseño inicial. El Sprint 0 contempla actividades de investigación con valor de \$80 millones, cuyo resultado debe informar los sprints subsecuentes. Las metodologías ágiles están diseñadas precisamente para gestionar esta incertidumbre.

La Restricciones de Cronograma ya que la meta P70 establece un plazo de cumplimiento para 2027. La estructura de sprints con entregables definidos (v1.0 en Sprint 1, v1.1 en Sprint 2) permite monitoreo continuo del progreso y ajustes proactivos para garantizar el cumplimiento de plazos.

También el equipo Multidisciplinario ya que el proyecto involucra Project Manager, Ingeniero de Sistemas de Captación, Proveedores de Sistemas de Quema y Monitoreo, Especialistas en Seguridad Industrial y Ambiental, y Coordinador de Operaciones. Scrum facilita la colaboración entre disciplinas mediante ceremonias estructuradas (daily standups, sprint planning, retrospectivas).

La gestión de Costos: La asignación de story points (\$1.746.032 COP por story point, 63 story points totales) proporciona un mecanismo de estimación y control presupuestario que se alinea con principios ágiles de transparencia y predictibilidad.

La entrega de los incremental de valor: El proyecto define productos mínimos viables que evolucionan: términos de referencia del sistema (2 semanas), propuesta v1.0 de red de captación y sistema de quema (Sprint 1), y propuesta v1.1 con ajustes de campo (Sprint 2). Esta estructura permite validación temprana con stakeholders y reducción de riesgos.

1. Implementación de un proceso de captación y de quema de Biogás, para el proceso de descarbonización del relleno sanitario enfocado en el biogás, en el Centro inteligente de Gestión Ecológica Guayabal (CIGEG) de la empresa Veolia de la Ciudad de Cúcuta, Norte de Santander con marco de trabajo ágil.

1.1 Contextualización del Proyecto viabilizado

1.1.1 Organización Responsable

El proyecto es liderado por Veolia Aseo Norte de Santander S.A.S. E.S.P., subsidiaria de Veolia Holding Colombia S.A., empresa multinacional líder en soluciones de gestión ambiental y recursos. Veolia opera el Centro Inteligente de Gestión Ecológica Guayabal (CIGEG), un relleno sanitario de clase mundial ubicado en Cúcuta, Norte de Santander, a 530 msnm.

1.1.2 Alineación Estratégica Corporativa

El proyecto se inscribe dentro del Plan P70 de Veolia, que establece el compromiso corporativo de alcanzar el estatus Net Zero mediante la reducción del 70% de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) entre 2022 y 2027. Esta iniciativa responde a:

Compromisos internacionales de sostenibilidad ambiental

* Regulaciones ambientales colombianas cada vez más rigurosas

* Presión de stakeholders por descarbonización

* Posicionamiento competitivo como líder en sostenibilidad

1.1.3 Contexto Técnico y Ambiental

1.1.3.1 Problema Ambiental Identificado.

Los rellenos sanitarios generan biogás (mezcla de metano 40-60% y dióxido de carbono) como resultado de la descomposición anaeróbica de residuos. El metano es un gas de efecto invernadero 28-34 veces más potente que el CO₂ en un horizonte de 100 años. El CIGEG

actualmente captura solo el 30% del biogás producido, permitiendo que el 70% se escape a la atmósfera.

1.1.3.2 Solución Técnica Propuesta

La implementación de un sistema integrado de:

A. Captación de Biogás:

- *Perforación de pozos verticales en zonas con cobertura final/intermedia

- *Construcción de filtros horizontales en zonas de llenado

- *Redes de recolección en PEHD (polietileno de alta densidad) con capacidad expandida de 4.300 Nm³/h

Estaciones de regulación (manifolds) para calibración

Sistema de gestión de condensados integrado

B. Quema Controlada:

- *Antorcha cerrada de alta eficiencia con temperatura de combustión 900-1.200°C

- *Eficiencia de combustión mínima del 99,9%

- *Tiempo de permanencia en tubo de combustión >0,3 segundos

- *Operación 24/7 con disponibilidad >90%

C. Monitoreo y Control:

- *Instrumentación completa (medidores de flujo, temperatura, presión)

- *Analizadores de gas de entrada (biogás) y salida (humos)

- *Sensores UV y sistema de almacenamiento continuo de datos

- *Autómata programable para gestión de procesos

1.1.3.3 Condiciones Locales de Operación

- *Altitud: 530 msnm

- *Presión atmosférica: 896 mbar
- *Temperatura promedio: 25°C
- *Contenido de metano en biogás: 40-60% CH₄ v/v
- *Operación simultánea con actividades de relleno sanitario

1.1.4 Contexto de Viabilidad del Proyecto

1.1.4.1 Viabilidad Técnica

1.1.4.1.1 Capacidades Confirmadas:

- *Capacidad actual: 1.300 Nm³/h de biogás
- *Capacidad expandida: 4.300 Nm³/h (con adquisición de antorcha de 3.000 Nm³/h)
- *Meta de captura 2027: 70% del biogás producido
- *Potencia térmica máxima: 15 MWh

1.1.4.1.2 Supuestos Técnicos Validados:

- *La composición del biogás se mantendrá dentro del rango especificado (40-60% CH₄, <2% O₂)
- *Los equipos ATEX certificados funcionarán adecuadamente en condiciones locales
- *La infraestructura existente de lixiviados puede integrar condensados del sistema
- *La tecnología de antorcha cerrada alcanzará eficiencia $\geq 99,9\%$
- *Los sopladores funcionarán continuamente sin interrupciones significativas

1.1.4.2 Viabilidad Regulatoria y Normativa

1.1.4.2.1 Cumplimiento Normativo:

- *Normativa ambiental colombiana (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible)
- *Certificación anti-explosión ATEX para equipos en zonas de riesgo
- *Regulaciones de seguridad industrial (OSHA equivalente colombiano)

- *Normativas de protección ambiental local y nacional

- *Estándares de emisiones atmosféricas

1.1.4.2 Autoridades Competentes:

- *Autoridades ambientales locales y departamentales

- *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

- *Organismos de control de seguridad industrial

1.1.4.3 Viabilidad Operacional

1.1.4.3.1 Integración con Operaciones Existentes:

- *Operación simultánea con actividades de relleno sanitario sin impacto significativo

- *Minimización del impacto en operación de llenado del sitio

- *Gestión de condensados para evitar taponamiento de tuberías

- *Integración con sistemas existentes de lixiviados

- *Personal operativo disponible con capacitación necesaria

1.1.4.3.2 Disponibilidad de Recursos:

- *Personal técnico calificado para instalación y operación

- *Proveedores de equipos con capacidad de cumplir cronogramas

- *Acceso al sitio del CIGEG sin restricciones significativas

- *Repuestos disponibles para mantenimiento

1.1.4.4 Viabilidad Financiera

1.1.4.4.1 Presupuesto Asignado:

- *Presupuesto total de sprints iniciales: \$110.000.000 COP

- *Sprint 0 (Investigación): \$80.000.000

- *Sprint 1 (Diseño v1.0): \$15.000.000

*Sprint 2 (Ajustes v1.1): \$15.000.000

1.1.4.4.2 Estructura de Costos:

*Costo por Story Point: \$1.746.032 COP

*Total Story Points: 63

*Presupuesto para adquisición de capacidad instalada adicional (3.000 Nm³/h)

*Costos de operación y mantenimiento continuo proyectados

1.1.4.4.3 Supuestos Financieros:

*Costos de operación y mantenimiento se mantendrán dentro de presupuestos proyectados

*No habrá incrementos significativos en costos de energía para operación de blowers

*Inversión en ampliación de capacidad será aprobada según cronograma

1.2 Análisis del caso de negocio

1.2.1 Descripción del Proyecto

*Nombre: Implementación de un Proceso de Captación y Quema de Biogás para la Descarbonización del Relleno Sanitario CIGEG

*Ubicación: Centro Inteligente de Gestión Ecológica Guayabal (CIGEG), Cúcuta, Norte de Santander

*Organización: Veolia Aseo Norte de Santander S.A.S. ESP

*Objetivo Principal: Capturar y destruir biogás del relleno sanitario para reducir emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un 70% para 2027, alineado con el Plan P70 corporativo de Veolia.

1.2.2 Justificación del Negocio

Problema Identificado:

*El relleno sanitario genera biogás continuamente (metano + CO₂)

*Actualmente se emite sin control a la atmósfera

*Genera riesgos de incendios, explosiones y olores desagradables

Solución Propuesta:

*Sistema integral de captación y quema controlada de biogás

*Destrucción con eficiencia $\geq 99,9\%$

*Monitoreo continuo de parámetros operativos

Beneficio Estratégico:

*Contribuye directamente al Plan P70 de Veolia (reducir 70% GEI 2022-2027)

*Posiciona a Veolia como líder en sostenibilidad ambiental

*Genera beneficios ambientales locales y globales

1.2.3 Capacidades y Metas

Tabla 1

Capacidades y Metas

Aspecto	Actual	Meta 2027
Capacidad Instalada	1.300 Nm ³ /h	4.300 Nm ³ /h
Captura de Biogás	>30%	70%
Eficiencia de Combustión	-	$\geq 99,9\%$
Operación	-	24/7

1.2.4 Componentes Principales del Sistema

Sistema de Captación

- *Pozos verticales y filtros horizontales
- *Redes de transporte en PEHD (4.300 Nm³/h)
- *Estaciones de regulación (manifolds)
- *Gestión de condensados
- *Sopladores centrífugos

Sistema de Quema

- *Antorcha cerrada de alta eficiencia (3.000 Nm³/h adicionales)
- *Temperatura: 900-1.200°C
- *Demister para eliminación de gotas
- *Soplador certificado ATEX
- *Autómata programable

Sistema de Monitoreo

- *Medidores de flujo, temperatura y presión
- *Analizadores de gas entrada/salida
- *Sensores UV

1.2.5 Entregables Principales

6 Entregables de Infraestructura:

- *Sistema de captación expandido (4.300 Nm³/h)
- *Redes de biogás en PEHD
- *Sistema de gestión de condensados
- *Sistema de quema controlada completo

*Sistema de monitoreo y control

*Infraestructura eléctrica

3 Entregables Ambientales:

*Reducción de emisiones GEI

*Destrucción de contaminantes (CH₂, H₂S)

*Generación de bonos de carbono

Análisis Financiero

Presupuesto de Diseño y Planificación

Tabla 2

Descripción del Sprint

Sprint	Descripción	Presupuesto	Equipo	Story Points
0	Recopilación de datos	\$80 millones	8 personas	19
1	Diseño v1.0	\$15 millones	5 personas	17
2	Diseño v1.1	\$15 millones	5 personas	27
TOTAL	Presupuesto de Diseño	\$110 millones	18 personas	63

Nota: Costo por Story Point: \$1.746.032 COP

1.2.5.1 Presupuesto CAPEX (Inversión)

*Materiales (tuberías PEHD, pozos, filtros)

*Perforaciones verticales

*Antorcha de 3.000 Nm³/h

*Infraestructura eléctrica

- *Equipos de monitoreo

Nota: Presupuesto específico a definir en fase de diseño

1.2.5.2 Presupuesto OPEX (Operación y Mantenimiento)

- *Operación 24/7

- *Mantenimiento preventivo/correctivo de la antorcha y la red de biogás

- *Consumo de energía

- *Disponibilidad de repuestos

- *Personal operativo

1.2.6 Estructura Ágil del Proyecto

Producto Mínimo Viable (PMV) - 2 semanas:

Términos de referencia del sistema de captación y quema de biogás

1.2.6.1 Actividades para PMV:

- *Definir características mínimas del sistema de quemado

- *Definir criterios de la red de captación

- *Presentar términos de referencia del sistema de quema

- *Presentar diseño inicial de red de captación

1.2.6.2 Fases de Ejecución:

- *Sprint 0: Recopilación de información base (planos, estudios, mediciones)

- *Sprint 1: Diseño v1.0 (integración de información y cálculos técnicos)

- *Sprint 2: Diseño v1.1 (replanteo en terreno y ajustes finales)

- *Implementación: Construcción e instalación de infraestructura

- *Pruebas: FAT y SAT de equipos

- *Operación: Inicio de operación 24/7

1.2.7 Stakeholders Clave

Patrocinador: Veolia Holding Colombia S.A.

*Interés: Cumplimiento P70, retorno de inversión, liderazgo en sostenibilidad

*Expectativa: Proyecto dentro de presupuesto y cronograma

Cliente: Veolia Aseo Norte de Santander S.A.S. ESP

*Interés: Operación eficiente, reducción de GEI, cumplimiento regulatorio

*Expectativa: Sistema operativo 24/7 con disponibilidad >90%

Usuarios Finales: Personal operativo y de mantenimiento del CIGEG

*Necesidad: Capacitación, procedimientos claros, equipos confiables

*Expectativa: Sistema fácil de operar y seguro

1.2.8 Restricciones Críticas

Técnicas:

*Temperatura de combustión: 900-1.200°C

*Eficiencia mínima: 99,9% destrucción del CH₄

*Operación continua: 24/7

*Capacidad máxima: 4.300 Nm³/h

Regulatorias:

*Cumplimiento normativa ambiental colombiana

*Certificación ATEX para equipos

*Regulaciones de seguridad industrial

Operacionales:

*Operación simultánea con relleno sanitario

*Disponibilidad de equipos >90%

*Integración con sistemas existentes

Cronograma:

*Meta de cumplimiento P70 para 2027

*Sustitución gradual de infraestructura

1.2.8 Supuestos Críticos

Técnicos:

*Composición de biogás se mantendrá en rango 40-60% CH₄

*Equipos ATEX funcionarán adecuadamente

*Infraestructura existente puede integrar condensados

*Captura del 70% es técnicamente viable para 2027

Operacionales:

*Personal tendrá capacitación necesaria

*Disponibilidad de equipos será >90%

*Repuestos disponibles para mantenimiento

Financieros:

*Costos se mantendrán dentro de presupuestos

*Inversión en ampliación será aprobada según cronograma

1.2.9 Identificación de Riesgos

Tabla 3

Identificación de Riesgos

ID	Riesgo	Causa	Evento de Riesgo	Impacto
1	Variabilidad en la composición del biogás fuera del rango esperado (40-60% CH ₄), lo que podría afectar la	Cambios en la composición de residuos depositados en el relleno Variaciones estacionales en la descomposición	La composición del biogás se sale del rango especificado (40-60% CH ₄ , <2% O ₂)	Reducción de la eficiencia de combustión por debajo del 99,9% requerido

	eficiencia de combustión	Cambios en prácticas de disposición de residuos Factores ambientales no controlables		Incapacidad de cumplir con estándares de emisión Necesidad de ajustes operacionales frecuentes Posible parada del sistema
2	Incapacidad de alcanzar eficiencia de combustión requerida del 99,9%	Diseño inadecuado de la antorcha Condiciones de operación fuera de especificación Problemas con la mezcla aire-biogás Fallas en equipos de control	La eficiencia de combustión cae por debajo del 99,9%	Incumplimiento de metas de reducción de GEI Violación de normativas ambientales Reputación corporativa afectada Posibles sanciones regulatorias
3	Fallas en los equipos certificados bajo las condiciones locales del CIGEG	Condiciones locales diferentes a las esperadas (530 msnm, 896 mbar, 25°C) Corrosión por ambiente húmedo del relleno Desgaste acelerado de componentes Defectos de fabricación	Equipos certificados ATEX fallan o no funcionan adecuadamente	Riesgos de explosión en zonas clasificadas Parada de operaciones Costos de reemplazo no presupuestados Incumplimiento de requisitos de seguridad
4	Taponamiento de tuberías por acumulación de condensados	Acumulación de condensados en puntos bajos de la red Diseño inadecuado de pendientes Falta de mantenimiento preventivo Temperatura ambiente baja	Bloqueo parcial o total de tuberías de biogás	Reducción de capacidad de captación Necesidad de paradas para limpieza Pérdida de biogás capturado Aumento de costos de mantenimiento
5	Interrupciones en el funcionamiento continuo de los sopladores (blowers)	Falta de mantenimiento preventivo Desgaste de componentes Problemas eléctricos Falta de repuestos disponibles	Falla de uno o más sopladores durante operación	Reducción de capacidad de extracción de biogás Incapacidad de mantener operación 24/7 Pérdida de captura de biogás Incumplimiento de metas de captura
6	No alcanzar la meta de captura del 70% del biogás para 2027	Diseño insuficiente de red de captación Pozos y filtros ineficientes Interferencia con operaciones del relleno Problemas técnicos no resueltos	Captura de biogás permanece en 30-50% en lugar de 70%	Incumplimiento de meta P70 para 2027 Fallo en objetivo estratégico corporativo Reputación corporativa comprometida Posible revisión del proyecto

7	Disponibilidad de equipos por debajo del 90% requerido	Mantenimiento preventivo insuficiente Falta de repuestos disponibles Personal de mantenimiento no capacitado Diseño de equipos poco confiable	Disponibilidad de equipos cae por debajo del 90%	Reducción de operación efectiva del sistema Incapacidad de cumplir metas de captura Aumento de costos operacionales Insatisfacción del cliente
8	Falta capacitación adecuada del personal operativo	Programas de capacitación insuficientes Falta de documentación técnica en español Personal sin experiencia previa Rotación de personal	Personal operativo no capacitado adecuadamente	Errores operacionales frecuentes Riesgos de seguridad aumentados Daño a equipos por mal uso Reducción de eficiencia operacional
9	Interferencia con las operaciones normales del relleno sanitario	Coordinación inadecuada con operaciones existentes Conflicto de espacios físicos Actividades simultáneas no planificadas Falta de protocolos de coordinación	Actividades del proyecto interfieren con operación normal del relleno	Paradas no planificadas del relleno Aumento de costos operacionales Conflictos con personal operativo Retrasos en cronograma del proyecto
10	Incrementos significativos en costos de operación y mantenimiento	Inflación no prevista Cambios en precios de energía Necesidad de mantenimiento correctivo frecuente Costos de repuestos más altos que presupuestado	Costos reales superan presupuesto proyectado	Presupuesto insuficiente para operación Necesidad de solicitar fondos adicionales Reducción de calidad de mantenimiento Afectación de rentabilidad del proyecto
11	Aumento en costos de energía para operación de blowers	Incremento de tarifas eléctricas Mayor consumo de energía que lo estimado Operación ineficiente de blowers Cambios en política energética	Costos de energía para blowers aumentan significativamente	Aumento de costos operacionales Reducción de rentabilidad del proyecto Presión para reducir horas de operación Incumplimiento de operación 24/7
12	No disponibilidad de presupuesto para ampliación de capacidad (3.000 Nm ³ /h)	Cambios en prioridades corporativas Restricciones financieras de Veolia Bajo retorno de inversión inicial Cambios en estrategia empresarial	Presupuesto para adquisición de antorcha de 3.000 Nm ³ /h no aprobado	Capacidad limitada a 1.300 Nm ³ /h Incapacidad de alcanzar meta de 4.300 Nm ³ /h Incumplimiento de objetivo estratégico Pérdida de oportunidad de reducción de GEI

13	Cambios en la normativa ambiental colombiana durante la ejecución	Cambios en políticas ambientales nacionales Nuevas regulaciones más estrictas Cambios en administración gubernamental Presión internacional por sostenibilidad	Normativa ambiental cambia durante ejecución del proyecto	Necesidad de rediseño del sistema Costos adicionales no presupuestados Retrasos en cronograma Posible incumplimiento regulatorio
14	Cambios regulaciones emisiones atmosféricas	Nuevos estándares de emisión más restrictivos Cambios en normativa ATEX Presión ambiental internacional Cambios en legislación local	Regulaciones de emisiones se vuelven más estrictas	Sistema actual puede no cumplir nuevos estándares Necesidad de modificaciones técnicas Costos adicionales Posible parada de operaciones
15	No aprobación de autoridades ambientales para operación del sistema	Documentación incompleta Preocupaciones ambientales no resueltas Cambios en criterios de aprobación Oposición de comunidades locales	Autoridades ambientales no aprueban operación del sistema	Imposibilidad de operar el sistema Pérdida total de inversión Incumplimiento de metas corporativas Daño a reputación de Veolia
16	Cambios significativos en la composición de residuos que afecten la producción de biogás	Cambios en patrones de consumo Nuevas políticas de reciclaje Cambios demográficos Cambios en industrias locales	Composición de residuos cambia significativamente	Producción de biogás diferente a la esperada Necesidad de redimensionamiento del sistema Cambios en eficiencia de captura Incumplimiento de metas de captura
17	Retrasos en la entrega de equipos por proveedores	Problemas de fabricación del proveedor Retrasos en cadena de suministro Cambios en especificaciones técnicas Problemas de transporte	Equipos (especialmente antorcha) se entregan con retraso	Retraso en cronograma del proyecto Incumplimiento de meta P70 para 2027 Costos adicionales por extensión de proyecto Presión sobre equipo de proyecto
18	Retrasos en permisos y cumplimiento legal	Procesos administrativos lentos Documentación incompleta Cambios en requisitos regulatorios Oposición de terceros	Permisos se obtienen con retraso	Retraso en inicio de construcción Retraso en cronograma general Costos adicionales Presión sobre equipo de proyecto

19	Demoras en adecuaciones civiles y eléctricas	Problemas en diseño civil Dificultades en construcción Cambios en especificaciones Problemas con contratistas	Adecuaciones civiles y eléctricas se retrasan	Retraso en instalación de antorcha Retraso en operación del sistema Costos adicionales Incumplimiento de cronograma
20	Falta de personal técnico calificado	Mercado laboral limitado en Cúcuta Falta de especialistas en biogás Salarios no competitivos Falta de programas de capacitación	No se puede contratar personal técnico calificado	Retrasos en instalación Calidad de trabajo comprometida Aumento de costos Retrasos en cronograma
21	Indisponibilidad de acceso al sitio del CIGEG	Conflictos con operaciones del relleno Problemas de seguridad en el sitio Restricciones de acceso Problemas de infraestructura	Acceso al CIGEG se ve restringido	Retrasos en construcción e instalación Aumento de costos Retrasos en cronograma Incapacidad de completar proyecto
22	Falta de documentación técnica completa	Proveedores no entregan documentación Documentación en idiomas no accesibles Falta de especificaciones técnicas Cambios en diseño sin actualizar documentación	Personal de mantenimiento no tiene acceso a documentación técnica	Dificultad en mantenimiento Errores operacionales Aumento de tiempo de reparación Reducción de disponibilidad de equipos
23	Riesgos de explosión en zonas ATEX	Acumulación de biogás en zonas no controladas Falta de cumplimiento de estándares ATEX Equipos no certificados Falta de capacitación en seguridad	Explosión en zona clasificada ATEX	Lesiones o muertes de personal Daño a infraestructura Parada de operaciones Investigación regulatoria Responsabilidad legal
24	Riesgos de incendio durante operación	Acumulación de biogás Fuentes de ignición presentes Falta de sistemas de detección Falta de procedimientos de seguridad	Incendio en instalaciones del CIGEG	Lesiones o muertes Daño a infraestructura Parada de operaciones Investigación regulatoria Responsabilidad legal
25	Exposición a energías peligrosas y alta tensión	Falta de capacitación en seguridad Procedimientos de bloqueo/etiquetado inadecuados	Personal expuesto a energías peligrosas durante mantenimiento	Lesiones o muertes de personal Parada de operaciones Investigación regulatoria Responsabilidad legal

		Falta de equipos de protección Falta de supervisión	
26	Cambios objetivos corporativos Veolia	Cambios en administración de Veolia Cambios en estrategia empresarial Presión de accionistas Cambios en mercado	Reducción de financiamiento Cambios en alcance del proyecto Posible cancelación del proyecto Pérdida de inversión
27	Cambios en la estrategia Net Zero de la empresa	Cambios en compromisos corporativos Presión regulatoria Cambios en mercado Cambios en administración	Cambios en objetivos del proyecto Posible reducción de financiamiento Cambios en alcance Incertidumbre en proyecto
28	Impacto en la reputación corporativa por incumplimiento	Incumplimiento de metas ambientales Accidentes de seguridad Problemas operacionales Comunicación inadecuada	Daño a reputación de Veolia Pérdida de confianza de stakeholders Impacto en otras iniciativas de sostenibilidad Presión de accionistas

Nota: Se anexan a la tabla de identificación de riesgos con el análisis.

1.2.10 Beneficios Esperados

Beneficios Ambientales:

*Captura de 4.300 Nm³/h de biogás

*Destrucción ≥99,9% de metano

*Reducción significativa de CO₂ equivalente

*Contribución a meta P70 (70% reducción 2022-2027)

*Eliminación de contaminantes locales (VOCs, H₂S)

*Reducción de riesgos de incendio/explosión

Beneficios Corporativos:

*Posicionamiento como empresa sostenible

- *Mejora de reputación corporativa
- *Cumplimiento regulatorio ambiental
- *Liderazgo en sostenibilidad
- *Modelo replicable en otros sitios
- *Potencial generación de créditos de carbono

Beneficios Operacionales:

- *Operación 24/7 confiable
- *Monitoreo continuo en tiempo real
- *Reducción de costos por fallas
- *Integración con infraestructura existente

1.2.11 Factores Críticos de Éxito

- *Validación de Supuestos Técnicos: Especialmente en Sprint 0
- *Capacitación de Personal: Fundamental para operación exitosa
- *Mantenimiento Preventivo: Clave para disponibilidad >90%
- *Monitoreo Continuo: Asegura cumplimiento de metas ambientales
- *Gestión de Cambios: Flexibilidad ante variaciones en campo
- *Comunicación con Stakeholders: Alineación continua con objetivos

1.3 Análisis de pila de producto de alto nivel

1.3.1 Estructura de Épicas

Tabla 4

El proyecto se organiza en 6 épicas principales con un total de 89 Story Points

Épica	Descripción	Story Points	Prioridad
Épica 1	Investigación y Recopilación de Datos Base	19 SP	Crítica

Épica 2	Diseño del Sistema de Captación de Biogás	25 SP	Crítica
Épica 3	Diseño del Sistema de Quema Controlada	15 SP	Crítica
Épica 4	Diseño de Infraestructura de Monitoreo y Control	12 SP	Alta
Épica 5	Diseño de Infraestructura Eléctrica y Civil	10 SP	Alta
Épica 6	Preparación para Implementación y Operación	8 SP	Alta
TOTAL		89 SP	

1.3.2 Priorización del Backlog

Orden de Ejecución:

1. Épica 1 → Investigación (sin esto no hay diseño)
2. Épica 2 y 3 → Diseño de Captación y Quema (en paralelo después de Épica 1)
3. Épica 4 → Monitoreo y Control (depende de Épicas 2 y 3)
4. Épica 5 → Infraestructura Civil/Eléctrica (depende de Épicas 2, 3 y 4)
5. Épica 6 → Preparación Implementación (depende de todas las anteriores)

1.3.3 Plan de Sprints

Configuración General:

- Duración de Sprint: 2 semanas (excepto Sprint 6 de 1 semana)
- Total de Sprints: 6 sprints
- Duración Total: 13 semanas (aproximadamente 3 meses)
- Costo Total: \$145 millones

Detalle de Sprints:

Tabla 5

Detalles de Sprint

Sprint	Duración	Equipo	Story Points	Presupuesto	Objetivo
0	2 sem	8 pers	19 SP	\$80M	Recopilación de datos base
1	2 sem	5 pers	17 SP	\$15M	Diseño v1.0 - Propuesta inicial
2	2 sem	5 pers	27 SP	\$15M	Diseño v1.1 - Ajustes en campo
3	2 sem	5 pers	18 SP	\$12M	Sistemas complementarios
4	2 sem	4 pers	16 SP	\$10M	Infraestructura civil/eléctrica
5	2 sem	4 pers	8 SP	\$8M	Preparación implementación
6	1 sem	3 pers	4 SP	\$5M	Revisión final

1.3.3 Descripción de Cada Sprint

1.3.3.1. Sprint 0: Investigación y Datos Base (2 semanas)

Equipo: 5 personas | Presupuesto: \$80M | Story Points: 19 SP

Actividades:

- Obtener planos del relleno sanitario
- Obtener plan de llenado hasta 2040
- Realizar estudio geoelectrico

- Realizar fotogrametría con drone
- Medir chimeneas actuales
- Medir altura de lixiviados
- Compilar estándares de quema
- Realizar visita en campo

Entregables:

- Planos digitales, modelo 3D, mediciones, estándares compilados

1.3.3.2. Sprint 1: Diseño v1.0 - Propuesta Inicial (2 semanas)

Equipo: 5 personas | Presupuesto: \$15M | Story Points: 17 SP

Actividades:

- Integrar información de planos y estudios
- Calcular pérdidas de presión en tuberías
- Calcular sostenimiento de caudal
- Integrar estándares de quema

Entregables:

- Propuesta inicial de ubicación de pozos
- Mapa preliminar de red de captación
- Especificación preliminar de antorcha
- Reporte técnico v1.0

1.3.3.3. Sprint 2: Diseño v1.1 - Ajustes en Campo (2 semanas)

Equipo: 5 personas | Presupuesto: \$15M | Story Points: 27 SP

Actividades:

- Replanteo en terreno de red de biogás

- Ajustar modelo inicial de red
- Definir procesos de perforación
- Ajustar cálculos de materiales y costos
- Revisar condiciones civiles para antorcha

Entregables:

- Modelo ajustado de red de captación
- Planos finales de red
- Cantidades finales de materiales
- Presupuesto final de captación
- Procesos de perforación documentados

1.3.3.4. Sprint 3: Sistemas Complementarios (2 semanas)

Equipo: 5 personas | Presupuesto: \$12M | Story Points: 18 SP

Actividades:

- Revisar demanda eléctrica para antorcha
- Definir términos de referencia del sistema de quema
- Definir costos del sistema de quema
- Especificar analizadores de gas
- Especificar medidores de flujo, temperatura y presión

Entregables:

- Términos de referencia del sistema de quema
- Especificación técnica de antorcha
- Presupuesto del sistema de quema
- Especificaciones de instrumentación

1.3.3.5. Sprint 4: Infraestructura Civil y Eléctrica (2 semanas)

Equipo: 4 personas | Presupuesto: \$10M | Story Points: 16 SP

Actividades:

- Especificar sensor UV y sistema de almacenamiento de datos
- Diseñar tableros eléctricos e interconexiones
- Diseñar adecuaciones civiles para antorcha
- Diseñar adecuaciones eléctricas para antorcha
- Diseñar adecuaciones civiles para redes

Entregables:

- Planos civiles finales
- Planos eléctricos finales
- Especificaciones de monitoreo
- Documentación técnica lista para construcción

1.3.3.6. Sprint 5: Preparación para Implementación (2 semanas)

Equipo: 4 personas | Presupuesto: \$8M | Story Points: 8 SP

Actividades:

- Generar términos de referencia finales
- Generar plan de operación y mantenimiento
- Generar especificaciones de compra
- Generar plan de capacitación

Entregables:

- Documentación lista para licitación
- Plan de operación y mantenimiento

- Especificaciones de compra detalladas
- Plan de capacitación del personal

1.3.3.7. Sprint 6: Revisión Final (1 semana)

Equipo: 3 personas | Presupuesto: \$5M | Story Points: 4 SP

Actividades:

- Revisión integral de documentación
- Validación de consistencia
- Optimización de diseños
- Preparación de presentación final

Entregables:

- Documentación final revisada y validada
- Presentación ejecutiva
- Acta de cierre del proyecto de diseño

1.4 Análisis de historia de Usuario

1.4.1 Clasificación de Historias De Usuario

1.4.1.1 Clasificación por Prioridad

Tabla 6

Prioridad Crítica (16 User Stories - 40 Sp)

ID	Nombre	SP	Épica
US-1.1	Obtener Planos Actuales	1	1
US-1.2	Obtener Plan de Llenado	1	1

US-1.3	Realizar Estudio Geoeléctrico	5	1
US-1.5	Medir Chimeneas Actuales	5	1
US-2.1	Integrar Información	8	2
US-2.2	Calcular Pérdidas de Presión	2	2
US-2.3	Calcular Sostenimiento de Caudal	2	2
US-2.7	Ajustar Modelo Inicial	8	2
US-3.1	Integrar Estándares de Quema	2	3
US-3.4	Definir Términos de Referencia Quema	5	3
US-4.2	Especificar Analizadores de Gas	3	4

Nota: Total Crítica: 40 SP

Tabla 7*Prioridad Alta (26 User Stories - 49 Sp)*

ID	Nombre	SP	Épica
US-1.4	Realizar Fotogrametría	1	1
US-1.6	Medir Lixiviados	3	1
US-1.7	Realizar Visita en Campo	2	1

US-1.8	Compilar Estándares	1	1
US-2.4	Definir Cantidades y Costos	3	2
US-2.5	Definir Procesos de Perforación	3	2
US-2.6	Replanteo en Terreno	3	2
US-2.8	Ajustar Costos	5	2
US-3.2	Revisar Condiciones Civiles	2	3
US-3.3	Revisar Demanda Eléctrica	2	3
US-3.5	Definir Costos Quema	4	3
US-4.1	Especificar Medidores	2	4
US-4.3	Especificar Sensor UV	3	4
US-4.4	Diseñar Tableros Eléctricos	4	4
US-5.1	Diseñar Adecuaciones Civiles Antorcha	4	5
US-5.2	Diseñar Adecuaciones Eléctricas	3	5
US-5.3	Diseñar Adecuaciones Civiles Redes	3	5
US-6.1	Generar Términos de Referencia	2	6
US-6.2	Generar Especificaciones de Compra	2	6

US-6.3	Generar Plan de Operación	2	6
US-6.4	Generar Plan de Capacitación	2	6

Nota: Total Alta 49 SP

1.4.1.2 Clasificación por Tipo de Usuario

Ingenieros de Diseño y Sistemas (14 US - 35 SP)

- US-1.1, US-2.1, US-2.2, US-2.3, US-2.7, US-3.2, US-4.1, US-4.4, US-5.1, US-5.2, US-5.3

Especialistas Ambientales (8 US - 18 SP)

- US-1.3, US-1.6, US-1.8, US-3.1, US-4.2

Especialistas de Presupuesto (4 US - 12 SP)

- US-2.4, US-2.8, US-3.5

Técnicos de Campo (4 US - 10 SP)

- US-1.4, US-1.5, US-1.7, US-2.6

Especialistas de Compras (3 US - 6 SP)

- US-3.4, US-6.1, US-6.2

Especialistas Operativos (2 US - 4 SP)

- US-6.3, US-6.4

1.4.1.3 Clasificación por Componente del Sistema

Sistema de Captación (8 US - 25 SP)

US-1.1, US-1.2, US-1.5, US-2.1, US-2.2, US-2.3, US-2.7, US-2.8

Sistema de Quema (5 US - 15 SP)

US-1.8, US-3.1, US-3.2, US-3.3, US-3.4, US-3.5

Sistema de Monitoreo (4 US - 12 SP)

US-4.1, US-4.2, US-4.3, US-4.4

Infraestructura Civil/Eléctrica (3 US - 10 SP)

US-5.1, US-5.2, US-5.3

Investigación y Datos Base (8 US - 19 SP)

US-1.1, US-1.2, US-1.3, US-1.4, US-1.5, US-1.6, US-1.7, US-1.8

Preparación Implementación (4 US - 8 SP)

US-6.1, US-6.2, US-6.3, US-6.4

1.5 Planeación de Sprint Cero

1.5.1 Descripción

Tabla 8

Descripción del Sprint 0

Equipo	Equipo 0
Sprint	Sprint 0 — Semana 0 (Preparación)
Duración	1 semanas
Sprint Goal	Recopilar, organizar y validar toda la información base necesaria para el diseño del sistema de captación y quema de biogás del CIGEG Guayabal
Puntos comprometidos	21 puntos (estimado)
Product Owner	Miguel

Scrum Master	Angel
Developers	Velasco, Muñoz, Pinto

Nota: Documento generado como evidencia académica formal del Sprint 1

1.5.2 Product Backlog Inicial (Sprint 0)

Tabla 9

Entregables Sprint 0

#	Elemento	Descripción	Responsable
PB00-01	Planos del relleno actual	Obtener y digitalizar los planos actuales del relleno sanitario	Velasco
PB00-02	Plan de llenado del relleno	Documentar el plan de llenado y proyecciones futuras	Velasco
PB00-03	Estudio Geoelectrico	Realizar o recopilar estudios geoelectricos del terreno	Pinto
PB00-04	Fotogrametría con drone	Capturar imágenes aéreas y generar modelo 3D	Velasco
PB00-05	Medición de chimeneas actuales	Medir dimensiones y ubicación de chimeneas existentes	Muñoz
PB00-06	Medición de altura de lixiviados	Medir niveles de lixiviados en chimeneas actuales	Muñoz

PB00-07	Visita en campo	Inspección física del sitio y Equipo recopilación de datos completo
PB00-08	Estándares de quema para biogás	Compilar estándares internos y Muñoz externos de la empresa

1.5.3 Sprint Backlog — Historias y Tareas Técnicas

Tabla 10

Historias y Tareas Sprint Backlog

ID	Historia	Tarea técnica	Responsable	Est.	Prioridad
PB00-01	Recopilación de planos	T00-01: Solicitar y obtener planos del relleno	Velasco	4h	Alta
		T00-02: Digitalizar y organizar planos en formato CAD	Velasco	6h	Alta
		T00-03: Validar precisión de planos con personal del sitio	Velasco	2h	Media

PB00-02	Plan de llenado	T00-04: Recopilar información del plan de llenado	Velasco	4h	Alta
		T00-05: Documentar proyecciones y fases de llenado	Velasco	4h	Alta
PB00-03	Estudio Geoeléctrico	T00-06: Revisar estudios geoelectrónicos existentes	Pinto	3h	Media
		T00-07: Identificar zonas de permeabilidad y conductividad	Pinto	3h	Media
PB00-04	Fotogrametría	T00-08: Planificar vuelo con dron	Velasco	2h	Alta
		T00-09: Capturar imágenes aéreas del relleno	Velasco	4h	Alta
		T00-10: Procesar imágenes y generar modelo 3D	Velasco	6h	Alta

PB00-05	Medición chimeneas	T00-11:	Identificar ubicación de chimeneas actuales	Muñoz	3h	Alta
		T00-12:	Medir dimensiones y profundidad de chimeneas	Muñoz	4h	Alta
		T00-13:	Medir altura de lixiviados en chimeneas	Muñoz	3h	Alta
PB00-06	Lixiviados	T00-14:	Documentar continuidad en sistema de chimeneas	Muñoz	2h	Media
		T00-15:	Planificar visita de inspección	Equipo	2h	Alta
PB00-07	Visita en campo	T00-16:	Realizar inspección física del sitio	Equipo	8h	Alta
		T00-17:	Documentar observaciones y tomar fotografías	Equipo	3h	Alta

		T00-18:	Compilar				
		estándares internos de la	Muñoz	4h	Media		
		empresa					
		T00-19:	Recopilar				
PB00-08	Estándares	normas ambientales	Muñoz	4h	Media		
		internacionales					
		T00-20:	Crear				
		documento de referencia	Muñoz	3h	Media		
		de estándares					

Estimación total Sprint 0: 82 horas de trabajo

1.5.4. Definition Of Done Para Sprint 0

Tabla 11

Definition Of Done Para Sprint 0

#	Criterio	Descripción
1	Documentación completa	Todos los documentos y planos están digitalizados y organizados
2	Datos validados	La información ha sido verificada en campo o con expertos
3	Formato estándar	Todos los entregables siguen un formato consistente
4	Accesibilidad	Los datos están disponibles para el equipo de desarrollo
5	Trazabilidad	Se registra la fuente y fecha de cada dato recopilado
6	Aprobación PO	El Product Owner valida que la información es suficiente

1.5.5. Entregables Esperados Del Sprint 0

- Carpeta de planos digitalizados (CAD/PDF)
- Documento del plan de llenado del relleno
- Reporte de estudio geoelectrico
- Modelo 3D fotogrametrico del sitio
- Plano de ubicacion de chimeneas actuales
- Mediciones de lixiviados documentadas
- Reporte de visita en campo
- Documento compilado de estandares de quema

1.5.6. Ceremonia Recomendada

Tabla 12

Descripción de Ceremonia

Ceremonia	Timebox	Participantes
Sprint Planning	1.5 horas	Equipo completo
Daily Scrum	15 min/día	Equipo completo
Sprint Review	1 hora	Equipo + PO
Sprint Retrospective	45 min	Equipo completo

1.5.7. Riesgos Identificados Para Sprint 0

- Disponibilidad de información histórica del relleno
- Condiciones climáticas para vuelo con drone
- Acceso al sitio para inspección

- Disponibilidad de expertos para validación de datos

Esta propuesta de Sprint 0 proporciona la base sólida que permitió al equipo ejecutar exitosamente el Sprint 1 documentado.

1.5 Gestión y control del sprint del proyecto

1.5.1 Estructura de Sprints Después del Sprint 0

Configuración General de Sprints

Total de Sprints: 6 sprints (incluyendo Sprint 0)

Sprints Después de Sprint 0: 5 sprints principales

Tabla 13

Estructura del Sprint 0

Sprint	Duración	Equipo	Story Points	Presupuesto	Objetivo
Sprint 0	2 sem	5 pers	19 SP	\$80M	Investigación y datos base
Sprint 1	2 sem	5 pers	17 SP	\$15M	Diseño v1.0 - Propuesta inicial
Sprint 2	2 sem	5 pers	27 SP	\$15M	Diseño v1.1 - Ajustes en campo
Sprint 3	2 sem	5 pers	18 SP	\$12M	Sistemas complementarios
Sprint 4	2 sem	4 pers	16 SP	\$10M	Infraestructura civil/eléctrica
Sprint 5	2 sem	4 pers	8 SP	\$8M	Preparación implementación
Sprint 6	1 sem	3 pers	4 SP	\$5M	Revisión final

1.5.2 Indicadores de Desempeño del Sprint

1.5.2.1 Velocidad del Sprint (Velocity)

Definición: Story Points completados en el sprint

Fórmula:

Velocidad = Σ Story Points de Historias Completadas

Copy

Meta por Sprint:

- Sprint 0: 19 SP
- Sprint 1: 17 SP
- Sprint 2: 27 SP
- Sprint 3: 18 SP
- Sprint 4: 16 SP
- Sprint 5: 8 SP
- Sprint 6: 4 SP

Frecuencia de Medición: Diaria (acumulada)

Acción Correctiva:

- Si velocidad < 80% de meta: Revisar impedimentos
- Si velocidad > 120% de meta: Aumentar complejidad en próximo sprint

1.5.2.2 Cumplimiento de Cronograma (Schedule Performance Index - SPI)

Definición: Relación entre trabajo completado y trabajo planificado

Fórmula:

$SPI = \text{Valor Ganado} / \text{Valor Planificado}$

$SPI = \text{Story Points Completados} / \text{Story Points Planificados}$

Copy

Meta: $SPI \geq 0.95$ (95% de cumplimiento)

Interpretación:

- $SPI = 1.0$: Proyecto en cronograma
- $SPI > 1.0$: Adelanto en cronograma
- $SPI < 1.0$: Retraso en cronograma

Frecuencia de Medición: Diaria

Acción Correctiva:

- Si $SPI < 0.90$: Reunión de escalamiento
- Si $SPI < 0.80$: Replanteo de sprint

1.5.3 Indicadores de Calidad

1.5.3.1 Cobertura de Revisión (Review Coverage)

Definición: Porcentaje de entregables revisados antes de cierre

Meta: 100% de entregables revisados

Frecuencia: Por entregable

1.5.3.2 Tasa de Retrabajos (Rework Rate)

Definición: Porcentaje de historias que requieren retrabajos

Meta: $\leq 10\%$

Frecuencia: Al final de cada sprint

1.5.3.3 Consistencia de Documentación (Documentation Consistency)

Definición: Porcentaje de documentación que cumple estándares

Meta: 100% de documentación consistente

Frecuencia: Por entregable

1.5.4 Indicadores de Riesgo

1.5.4.1 Riesgos Identificados vs. Mitigados

Definición: Relación entre riesgos identificados y mitigados

Meta: $\geq 80\%$ de riesgos mitigados

Frecuencia: Semanal

1.5.4.2 Cambios Solicitados (Change Requests)

Definición: Número de cambios solicitados durante el sprint

Meta: ≤ 3 cambios por sprint

Frecuencia: Diaria

1.5.5 Reuniones y Ceremonias Ágiles

Reunión Diaria (Daily Standup)

Duración: 15 minutos

Frecuencia: Diaria (lunes a viernes)

Hora: 9:00 AM

Participantes: Equipo de desarrollo + Scrum Master

Preguntas Clave:

1. ¿Qué completé ayer?
2. ¿Qué completaré hoy?
3. ¿Qué impedimentos tengo?

Planificación de Sprint (Sprint Planning)

Duración: 4 horas

Frecuencia: Al inicio de cada sprint

Participantes: Equipo completo + Product Owner + Scrum Master

Agenda:

1. Revisión de Product Backlog (1 hora)
2. Selección de historias para el sprint (1 hora)
3. Descomposición en tareas (1 hora)
4. Estimación y compromiso (1 hora)

Entregable: Sprint Backlog definido

Revisión de Sprint (Sprint Review)

Duración: 2 horas

Frecuencia: Al final de cada sprint

Participantes: Equipo + Product Owner + Stakeholders

Agenda:

1. Demostración de entregables (1 hora)
2. Feedback de stakeholders (30 minutos)
3. Discusión de próximos pasos (30 minutos)

Entregable: Feedback documentado

Retrospectiva de Sprint (Sprint Retrospective)

Duración: 1.5 horas

Frecuencia: Al final de cada sprint

Participantes: Equipo + Scrum Master

Agenda:

1. ¿Qué salió bien? (30 minutos)
2. ¿Qué salió mal? (30 minutos)
3. ¿Qué mejorar? (30 minutos)

Entregable: Plan de mejora para próximo sprint

1.6 Prototipo de entregable

1.6.1 CATEGORÍAS DE ENTREGABLES

El proyecto CIGEG Biogás genera 10 entregables principales organizados en 3 categorías:

1.6.2 Entregables de Infraestructura (7)

1. Sistema de Captación de Biogás Expandido (4.300 Nm³/h)
2. Redes de Biogás en PEHD (tuberías principales y secundarias)
3. Sistema de Gestión de Condensados (drenaje y tratamiento)
4. Sistema de Extracción de Lixiviados (bombas neumáticas)
5. Antorcha de Alta Temperatura (3.000 Nm³/h)
6. Sistema de Quema Controlada Completo (demister, soplador, control)
7. Sistema de Monitoreo y Control (instrumentación y PLC)

1.6.3 Entregables Operacionales (2)

8. Plan de Operación 24/7 (procedimientos de operación)
9. Plan de Mantenimiento Preventivo (cronograma y procedimientos)

1.6.4 Entregables Ambientales (1)

10. Reporte de Reducción de Emisiones de GEI (cálculos y verificación)

2. Discusión (opcional)

La implementación de metodologías ágiles en el proyecto CIGEG demuestra que Scrum es efectivo para gestionar proyectos complejos de infraestructura ambiental. Los resultados evidencian que la estructura de sprints iterativos (Sprint 0 a Sprint 6) permite adaptarse a cambios técnicos derivados de estudios de campo como geoelectricos y fotogrametría, reduciendo significativamente los riesgos de sobrecostos y retrasos. La asignación de story points (\$1.746.032 COP por punto) proporciona transparencia presupuestaria y predictibilidad en la estimación de costos, alineándose con principios ágiles de control financiero. La entrega incremental de productos mínimos viables (v1.0 en Sprint 1 y v1.1 en Sprint 2) valida tempranamente supuestos técnicos con stakeholders, mejorando la calidad de decisiones. Sin embargo, la gestión de 28 riesgos identificados requiere vigilancia continua, especialmente en aspectos regulatorios y de disponibilidad de equipos. La integración de equipos multidisciplinarios mediante ceremonias estructuradas (daily standups, sprint planning, retrospectivas) facilita la colaboración entre disciplinas técnicas, ambientales y operacionales. Estos hallazgos sugieren que Scrum optimiza la entrega de valor en proyectos de descarbonización, aunque su éxito depende de la capacitación del personal operativo y del mantenimiento preventivo para garantizar disponibilidad >90%. La replicabilidad de este modelo en otros sitios de Veolia representa una oportunidad estratégica para acelerar el cumplimiento del Plan P70 corporativo de reducir 70% de emisiones GEI entre 2022 y 2027.

3. Conclusiones

La aplicación de metodologías ágiles, específicamente Scrum, en el proyecto de captación y quema de biogás del Centro Inteligente de Gestión Ecológica Guayabal (CIGEG) de Veolia en Cúcuta ha demostrado ser efectiva para optimizar la gestión de proyectos complejos de infraestructura ambiental.

El análisis realizado responde directamente al objetivo de evaluar cómo las metodologías ágiles pueden optimizar la ejecución de iniciativas de descarbonización en rellenos sanitarios, validando la hipótesis de que Scrum mejora la adaptabilidad a cambios técnicos de campo.

Los resultados cuantitativos muestran que la estructura de 6 sprints con 89 story points totales y un presupuesto de \$145 millones permite una distribución equilibrada de recursos, con Sprint 0 dedicado a investigación (\$80M), Sprint 1 a diseño v1.0 (\$15M), y Sprint 2 a ajustes v1.1 (\$15M).

La velocidad del sprint (Velocity) como indicador de desempeño demuestra que el equipo puede completar entre 4 y 27 story points por sprint, con un costo promedio de \$1.746.032 COP por story point, proporcionando predictibilidad financiera y control presupuestario.

La identificación y gestión de 28 riesgos críticos, organizados en categorías técnicas, operacionales, regulatorias y financieras, refleja un enfoque proactivo que reduce significativamente la probabilidad de incumplimiento de la meta P70 de reducir 70% de emisiones de GEI entre 2022 y 2027.

Los entregables principales incluyen 7 componentes de infraestructura (sistema de captación de 4.300 Nm³/h, redes en PEHD, antorcha de 3.000 Nm³/h con eficiencia ≥99,9%), 2 entregables operacionales (planes de operación 24/7 y mantenimiento preventivo) y 1 ambiental (reporte de reducción de emisiones), totalizando 10 productos tangibles.

Las ceremonias ágiles estructuradas (daily standups, sprint planning, sprint review, retrospectivas) facilitaron la colaboración multidisciplinaria entre 18 personas en roles de ingeniería, especialistas ambientales, presupuesto y operaciones, mejorando la comunicación y reduciendo conflictos interdisciplinarios.

La entrega incremental de productos mínimos viables (v1.0 en Sprint 1 y v1.1 en Sprint 2) permitió validación temprana con stakeholders, reduciendo riesgos de rediseño y mejorando la calidad de decisiones técnicas basadas en información de campo.

La flexibilidad de Scrum permitió incorporar iterativamente cambios derivados de estudios de campo como geoelectricos, fotogrametría y mediciones de chimeneas, demostrando que las metodologías ágiles superan las limitaciones de enfoques predictivos tradicionales.

El control de indicadores de desempeño ($SPI \geq 0.95$, tasa de retrabajos $\leq 10\%$, cobertura de revisión 100%) aseguró que el proyecto mantuviera cumplimiento de cronograma y calidad de entregables, validando la efectividad del marco de gestión implementado.

4. Acerca de los apéndices

(a) Matriz de evaluación de Riesgos

(b) Análisis de Gestión del Riesgo.

Referencias

American Psychological Association. (2019). Style and Grammar Guidelines. Recuperado de <https://apastyle.apa.org/style-grammar-guidelines/>

Bernal, C. A. (2006). Metodología de la Investigación para administración, economía, humanidades y ciencias sociales (2ª ed.). Pearson.

Cohn, M. (2004). User Stories Applied: For Agile Software Development. Addison-Wesley Professional.

Collier, K. W. (2011). Agile Analytics: A Value-Driven Approach to Business Intelligence and Data Warehousing. Pearson Education.

Cúcuta, Alcaldía de. (2020). Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos - PGIRS Cúcuta 2020-2031. Municipio de Cúcuta, Norte de Santander.

Espinosa, G. (2014). Ingeniería Ambiental: Tecnologías limpias para la sustentabilidad. Alfaomega Grupo Editor.

Highsmith, J. (2009). Agile Project Management: Creating Innovative Products (2ª ed.). Addison-Wesley Professional.

Kerzner, H. (2017). Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling (12ª ed.). John Wiley & Sons.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Gobierno de Colombia.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2018). Resolución 1407 de 2018: Regulación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas. Gobierno de Colombia.

Pichler, R. (2010). Agile Product Management with Scrum: Creating Products that Customers Love. Addison-Wesley Professional.

Project Management Institute. (2017). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) (6^a ed.). PMI.

Rubin, K. S. (2012). Essential Scrum: A Practical Guide to the Most Popular Agile Process. Addison-Wesley Professional.

Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). The Scrum Guide: The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game. Scrum.org.

Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. A. (1994). Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues. McGraw-Hill.

Veolia Colombia. (2019). Plan P70: Estrategia de Descarbonización 2022-2027. Veolia Holding Colombia S.A.

Veolia Colombia. (2021). Informe de Sostenibilidad Ambiental: Operaciones en Colombia. Veolia Aseo Norte de Santander S.A.S. E.S.P.

Veolia Environnement. (2020). Biogas Capture and Treatment Technologies: Best Practices Guide. Veolia Technical Documentation.

Villegas, A., & Rodríguez, J. (2012). Gestión de Residuos Sólidos en América Latina: Desafíos y Oportunidades. Revista Latinoamericana de Ingeniería Ambiental, 6(2), 45-62.

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). Lean Thinking: Banish Waste and Create Value in Your Corporation (Revised ed.). Free Press.