



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,
Canales y Puertos

Análisis de la producción de biogás procedente de
vertederos de residuos sólidos urbanos en la Comunitat
Valenciana.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

AUTOR/A: Sanchis Guerola, Jorge

Tutor/a: Rodrigo Ilarri, Javier

Cotutor/a: Rodrigo Clavero, María Elena

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

E.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos
Universitat Politècnica de València



ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PROCEDENTE DE VERTEDEROS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN LA COMUNITAT VALENCIANA

Trabajo de Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

AUTOR:

JORGE SANCHIS GUEROLA

TUTOR: JAVIER RODRIGO ILARRI

COTUTOR/A: MARÍA ELENA RODRIGO CLAVERO

Valencia, junio de 2023

A Maribel, Jorge, María y Helena

Resumen

El presente Trabajo Final de Máster titulado “Análisis de la Producción de Biogás en Vertederos de Residuos Sólidos Urbanos en la Comunitat Valenciana” trata sobre la investigación llevada a cabo sobre la producción de biogás en los vertederos de residuos sólidos urbanos de la Comunidad Valenciana.

Este trabajo ha partido de la información pública de las fuentes oficiales del “Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico”. El registro PRTR (“Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes”) pone a disposición del público información sobre emisiones al aire, agua y suelo de las sustancias contaminantes. Al igual que la fuente de información empleada para las emisiones es el PRTR, para la cantidad de residuos se han empleado las “Memorias anuales de generación y gestión de residuos” del “Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico”.

Una vez obtenida la información necesaria para el análisis, se ha procedido a desarrollar un indicador sobre la producción de metano y dióxido de carbono para comparar las emisiones de los distintos vertederos de la Comunidad Valenciana. Este indicador representa la producción unitaria como kilogramos de CH₄ y CO₂ entre las toneladas de rechazos que se destinan a vertedero. Realizando la suposición de que los residuos a lo largo de la Comunidad Valenciana son semejantes en cuanto a su composición y que la edad de las instalaciones de eliminación de residuos es similar, los resultados de producciones unitarias deberían ser muy parecidos, pero se ha comprobado que esto no es así, es más, se ha observado que existe una gran disparidad entre las producciones unitarias calculadas.

Debido a que la información pública de emisiones de CH₄ y CO₂ del PRTR son estimaciones realizadas con modelos matemáticos, se han realizado simulaciones propias de emisiones con la ayuda del software LandGEM (“United States Environmental Protection Agency”) y BIOLEACH – UPV para poder comparar con los datos de emisiones publicados en los registros.

Resum

El present Treball Final de Màster titulat “Anàlisi de la Producció de Biogàs en Abocadors de Residus Sòlids Urbans en la Comunitat Valenciana” tracta sobre la investigació duta a terme sobre la producció de biogàs en els abocadors de residus sòlids urbans de la Comunitat Valenciana.

Aquest treball ha partit de la informació pública de les fonts oficials del “Ministeri per a la transició ecològica i el repte demogràfic”. El registre PRTR (“Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes”) posa a la disposició del públic informació sobre emissions a l'aire, aigua i sòl de les substàncies contaminants. Igual que la font d'informació emprada per a les emissions és el PRTR, per a la quantitat de residus s'han emprat les “Memòries anuals de generació i gestió de residus” del “Ministeri per a la transició ecològica i el repte demogràfic”.

Una vegada obtinguda la informació necessària per a l'anàlisi, s'ha procedit a desenvolupar un indicador sobre la producció de Metà i Diòxid de Carboni per a comparar les emissions dels diferents abocadors de la Comunitat Valenciana. Aquest indicador representa la producció unitària com a quilograms de CH₄ i CO₂ entre les tones de rebutjos que es destinen a abocador. Realitzant la suposició que els residus al llarg de la Comunitat Valenciana són semblants quant a la seua composició i que l'edat de les instal·lacions d'eliminació de residus és similar, els resultats de produccions unitàries haurien de ser molt semblants, però s'ha comprovat que això no és així, és més, s'ha observat que existeix una gran disparitat entre les produccions unitàries calculades.

Pel fet que la informació pública d'emissions de CH₄ i CO₂ del PRTR són estimacions realitzades amb models matemàtics, s'han realitzat simulacions pròpies d'emissions amb l'ajuda del programari LandGEM (“United States Environmental Protection Agency”) i BIOLEACH – UPV per a poder comparar amb les dades d'emissions publicats en els registres.

Abstract

This Master's Final Project entitled "Analysis of Biogas Production in Solid Urban Waste Landfills in the Valencian Community" deals with the research carried out on biogas production in solid urban waste landfills in the Valencian Community.

This work has been based on public information from official sources of the "Ministry for Ecological Transition and Demographic Challenge". The PRTR register ("Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes") makes information on emissions of pollutants into air, water and soil available to the public. Just as the source of information used for emissions is the PRTR, for the amount of waste the "Annual reports on waste generation and management" of the "Ministry for Ecological Transition and the Demographic Challenge" have been used.

Once the necessary information for the analysis had been obtained, an indicator on the production of methane and carbon dioxide was created to compare the emissions of the different landfills in the Valencian Community. This indicator represents the unit production as kilograms of CH₄ or CO₂ among the tonnes of rejects destined for landfill. Assuming that the waste throughout the Valencian Community is similar in composition and that the age of the waste disposal facilities is similar, the results of unit productions should be very similar, but it has been found that this is not the case; moreover, it has been observed that there is a great disparity between the calculated unit productions.

Due to the fact that the public information on CH₄ and CO₂ emissions from the PRTR are estimates made with mathematical models, we have carried out our own simulations of emissions with the help of the LandGEM software (United States Environmental Protection Agency) and BIOLEACH - UPV in order to compare with the emissions data published in the registers.

Agradecimientos

La realización de este Trabajo de Final de Máster no habría sido posible sin la oportunidad que me brindó la Cátedra de Cambio Climático en el año 2022 para realizar una investigación sobre las emisiones de biogás que se producen en los vertederos de residuos sólidos urbanos en la Comunitat Valenciana.

Gracias por el gran esfuerzo, trabajo y apoyo incondicional de mis padres Jorge y Maribel, mi hermana María y mi novia Helena.

Quiero agradecer este trabajo a mis tutores Javier Rodrigo Ilarri y María Elena Rodrigo Clavero por todo su conocimiento y tiempo dedicado.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	5
RESUM	7
ABSTRACT	9
AGRADECIMIENTOS	11
ÍNDICE DE GRÁFICAS	17
ÍNDICE DE FIGURAS	19
ÍNDICE DE TABLAS	20
1. INTRODUCCIÓN	23
1.1. OBJETIVOS	24
1.2. INTRODUCCIÓN A LOS VERTEDEROS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	24
1.2.1. <i>Criterios de selección del emplazamiento</i>	24
1.2.2. <i>Impermeabilización y sistema de drenaje exterior</i>	25
1.2.3. <i>Lixiviados y Biogás</i>	25

1.3.	ASPECTOS BÁSICOS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN VERTEDEROS	26
1.4.	LEGISLACIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL SOBRE EMISIONES	26
2.	ESTADO DEL ARTE.....	29
2.1.	CONTEXTO HISTÓRICO DE LOS RSU.....	29
2.2.	CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DE LOS RSU	30
2.2.1.	<i>Producción y composición RSU en la Comunidad Valenciana</i>	30
2.3.	BIOGÁS EN VERTEDEROS DE RSU	34
2.3.1.	<i>La producción de biogás</i>	34
2.3.2.	<i>Composición del biogás</i>	35
2.3.3.	<i>Densidad del biogás, metano y dióxido de carbono</i>	38
2.3.4.	<i>El biogás y el efecto invernadero</i>	38
2.4.	MODELOS NUMÉRICOS PARA LA ESTIMACIÓN DEL BIOGÁS	38
3.	MODELO LANDGEM	41
3.1.	INTRODUCCIÓN.....	41
3.2.	DISEÑO DE LA HOJA DE CÁLCULO	42
3.3.	ECUACIÓN DE TASA DE DESCOMPOSICIÓN DE PRIMER ORDEN	43
3.4.	DATOS DE ENTRADA Y DE SALIDA	43
3.4.1.	<i>Características del vertedero</i>	43
3.4.2.	<i>Determinación de los parámetros del modelo</i>	44
3.4.3.	<i>Selección de gases y contaminantes</i>	46
3.4.4.	<i>Entrada de datos de aceptación de residuos</i>	47
3.5.	VISUALIZACIÓN DE DATOS, GRÁFICAS DE RESULTADOS E INVENTARIO	49
4.	MODELO BIOLEACH	51
4.1.	INTRODUCCIÓN.....	51
4.2.	DESCRIPCIÓN MODELO CONCEPTUAL.....	52
4.3.	DESCRIPCIÓN DEL MODELO NUMÉRICO – MÓDULO Nº1	52
5.	PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN LOS VERTEDEROS DE RSU DE LA COMUNITAT VALENCIANA	55
5.1.	VERTEDEROS EN OPERACIÓN DE LA COMUNIDAD VALENCIANA	56
5.2.	ANÁLISIS DE DATOS PÚBLICOS – EMISIONES DE GASES EN REGISTRO ESTATAL DE EMISIONES Y FUENTES CONTAMINANTES.....	56
5.2.1.1.	Vertedero de Onda (Provincia de Castellón)	58
5.2.1.2.	Vertedero de Cervera del Maestre (Provincia de Castellón)	61
5.2.1.3.	Vertedero de Dos Aguas (Provincia de Valencia)	63
5.2.1.4.	Vertedero de Caudete de las Fuentes (Provincia de Valencia).....	64
5.2.1.5.	Vertedero de Algimia de Alfara (Provincia de Valencia).....	66
5.2.1.6.	Vertedero de Alicante (Provincia de Alicante)	68

5.2.1.7.	Vertedero de Elche (Provincia de Alicante)	69
5.2.1.8.	Vertedero de Villena (Provincia de Alicante).....	71
5.2.1.9.	Vertedero de Xixona (Provincia de Alicante).....	72
5.3.	INDICADOR PRODUCCIÓN UNITARIA DE METANO Y DIÓXIDO DE CARBONO	74
6.	ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN VERTEDEROS DE RSU CON LANDGEM	82
6.1.	VERTEDERO DE XIXONA	83
6.2.	VERTEDERO DE VILLENA	85
6.3.	VERTEDERO DE ONDA	88
6.4.	VERTEDERO DE CERVERA DEL MAESTRE.....	91
6.5.	VERTEDERO DE DOS AGUAS	94
6.6.	VERTEDERO DE CAUDETE DE LAS FUENTES.....	97
6.7.	VERTEDERO DE ALGIMIA DE ALFARA	100
6.8.	VERTEDERO DE ALICANTE	102
6.9.	VERTEDERO DE ÉLCHE	104
7.	ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN VERTEDEROS DE RSU CON BIOLEACH.....	106
8.	COMPARATIVAS ESTIMACIONES LANDGEM Y BIOLEACH CON DATOS PUBLICADOS EN FUENTES OFICIALES	110
8.1.	VERTEDERO DE XIXONA (PROVINCIA DE ALICANTE)	110
8.2.	VERTEDERO DE VILLENA (PROVINCIA DE ALICANTE)	114
8.3.	VERTEDERO DE ONDA (PROVINCIA DE CASTELLÓN).....	117
8.4.	VERTEDERO DE CERVERA DEL MAESTRE (PROVINCIA DE CASTELLÓN).....	119
8.5.	VERTEDERO DE DOS AGUAS (PROVINCIA DE VALENCIA).....	122
8.6.	VERTEDERO DE CAUDETE DE LAS FUENTES (PROVINCIA DE VALENCIA)	125
8.7.	VERTEDERO DE ALGIMIA DE ALFARA (PROVINCIA DE VALENCIA)	127
8.8.	VERTEDERO DE ALICANTE (PROVINCIA DE ALICANTE)	130
8.9.	VERTEDERO DE ÉLCHE (PROVINCIA DE ALICANTE).....	133
9.	CONCLUSIONES	138
10.	LÍNEAS DE FUTURA INVESTIGACIÓN	140
11.	REFERENCIAS.....	143
	ANEJO Nº1: MEMORIAS RESIDUOS MITECO	145
	ANEJO Nº2: OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	157

Glosario

PRTR: Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes

RSU: Residuo Sólido Urbano

CH₄: Metano

CO₂: Dióxido de Carbono

RRB: Residuos Rápidamente Biodegradables

RLB: Residuos Lentamente Biodegradables

Índice de gráficas

Gráfica 1. Composición RSU - Estatal. Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.	31
Gráfica 2. Composición RSU Comunitat Valenciana. Fuente: Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana del 2010.	31
Gráfica 3. Composición RSU para BIOLEACH. Fuente: BIOLEACH.....	33
Gráfica 4. Ejemplo resultados LandGEM. Fuente: [16].....	50
Gráfica 5. Emisiones de metano del vertedero de Onda. Fuente: PRTR.....	60
Gráfica 6. Emisiones de dióxido de carbono del vertedero de Onda. Fuente: PRTR.....	60
Gráfica 7. Emisiones de dióxido de carbono del vertedero de Onda. Fuente: PRTR.....	60
Gráfica 8. Emisiones de metano del vertedero de Cervera del Maestre. Fuente: PRTR.....	62
Gráfica 9. Emisiones de Dióxido de Carbono del vertedero de Cervera del Maestre. Fuente: PRTR.....	62
Gráfica 10. Emisiones metano Vertedero de Dos Aguas. Fuente: PRTR.....	63
Gráfica 11. Emisiones dióxido de carbono Vertedero Dos Aguas. Fuente: PRTR.....	64
Gráfica 12. Emisiones metano Vertedero de Caudete de las Fuentes. Fuente: PRTR.....	65
Gráfica 13. Emisiones dióxido de carbono Vertedero de Caudete de las Fuentes. Fuente: PRTR.....	66
Gráfica 14. Emisiones metano Vertedero de Algimia de Alfara. Fuente: PRTR.....	67
Gráfica 15. Emisiones dióxido de carbono Vertedero de Algimia de Alfara. Fuente: PRTR.....	68
Gráfica 16. Emisiones metano Vertedero de Alicante. Fuente: PRTR.....	69
Gráfica 17. Emisiones metano Vertedero de Elche. Fuente: PRTR.....	70
Gráfica 18. Emisiones Dióxido de Carbono Vertedero de Elche. Fuente: PRTR.....	70
Gráfica 19. Emisiones metano Vertedero de Villena. Fuente: PRTR.....	71
Gráfica 20. Emisiones dióxido de carbono Vertedero de Villena. Fuente: PRTR.....	72
Gráfica 21. Emisiones metano Vertedero de Xixona. Fuente: PRTR.....	73
Gráfica 22. Emisiones dióxido de carbono Vertedero de Xixona. Fuente: PRTR.....	74
Gráfica 23. Producción unitaria metano. Fuente: propia.....	78
Gráfica 24. Producción unitaria CO ₂ . Fuente: propia.....	79
Gráfica 25. Resultados LandGEM Vertedero de Xixona.....	84
Gráfica 26. Comparativa emisiones Metano de PRTR y LandGEM Vertedero de Xixona.....	84
Gráfica 27. Comparativa emisiones Dióxido de Carbono de PRTR y LandGEM Vertedero de Xixona.....	85
Gráfica 28. Resultados LandGEM Vertedero de Villena.....	86
Gráfica 29. Comparativa emisiones Metano de PRTR y LandGEM Vertedero de Villena.....	87
Gráfica 30. Comparativa emisiones Dióxido de Carbono de PRTR y LandGEM Vertedero de Villena.....	88
Gráfica 31. Comparativa emisiones metano de PRTR y LandGEM Vertedero de Onda.....	90
Gráfica 32. Comparativa emisiones dióxido de carbono de PRTR y LandGEM Vertedero de Onda.....	91
Gráfica 33. Resultados LandGEM Vertedero de Cervera del Maestre.....	93
Gráfica 34. Comparativa emisiones metano de PRTR y LandGEM Vertedero de Cervera del Maestre.....	93
Gráfica 35. Comparativa emisiones dióxido de carbono de PRTR y LandGEM Vertedero de Cervera del Maestre.....	94
Gráfica 36. Resultados LandGEM Vertedero de Dos Aguas.....	96
Gráfica 37. Comparativa emisiones metano de PRTR y LandGEM Vertedero de Dos Aguas.....	96
Gráfica 38. Comparativa emisiones dióxido de carbono de PRTR y LandGEM Vertedero de Dos Aguas.....	97
Gráfica 39. Comparativa emisiones metano de PRTR y LandGEM Vertedero de Caudete de las Fuentes.....	99
Gráfica 40. Comparativa emisiones Dióxido de Carbono de PRTR y LandGEM Vertedero de Caudete de las Fuentes.....	99
Gráfica 41. Comparativa emisiones dióxido de carbono de PRTR y LandGEM Vertedero de Algimia de Alfara.....	101
Gráfica 42. Comparativa emisiones metano de PRTR y LandGEM Vertedero de Alicante.....	103
Gráfica 43. Comparativa emisiones Dióxido de Carbono de PRTR y LandGEM Vertedero de Alicante.....	103
Gráfica 44. Comparativa emisiones metano de PRTR y LandGEM Vertedero de Elche.....	105
Gráfica 45. Comparativa emisiones dióxido de carbono de PRTR y LandGEM Vertedero de Elche.....	105

Gráfica 46. Comparativa Cantidad Metano en Vertedero de Xixona - PRTR - LANDGEM – BIOLEACH. Fuente: propia.....	111
Gráfica 47. Comparativa Cantidad dióxido de carbono en Vertedero de Xixona - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.....	112
Gráfica 48. Comparativa Cantidad Total emisiones CH ₄ y CO ₂ en Vertedero de Xixona - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.	113
Gráfica 49. Comparativa Cantidad metano en Vertedero de Villena - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.....	114
Gráfica 50. Comparativa Cantidad dióxido de carbono en Vertedero de Villena - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.	115
Gráfica 51. Comparativa Cantidad Total emisiones CH ₄ y CO ₂ en Vertedero de Villena - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.	116
Gráfica 52. Comparativa Cantidad Metano en Vertedero de Onda - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH. Fuente: propia.	117
Gráfica 53. Comparativa Cantidad Dióxido de Carbono en Vertedero de Onda - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.....	118
Gráfica 54. Comparativa Cantidad Total emisiones CH ₄ y CO ₂ en Vertedero de Onda - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.....	119
Gráfica 55. Comparativa Cantidad metano en Vertedero de Cervera del Maestre - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.	120
Gráfica 56. Comparativa Cantidad dióxido de carbono en Vertedero de Cervera del Maestre - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.....	121
Gráfica 57. Comparativa Cantidad Total emisiones CH ₄ y CO ₂ en Vertedero de Cervera del Maestre - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.	122
Gráfica 58. Comparativa Cantidad metano en Vertedero de Dos Aguas - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.....	122
Gráfica 59. Comparativa Cantidad dióxido de carbono en Vertedero de Dos Aguas - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.....	123
Gráfica 60. Comparativa Cantidad Total emisiones CH ₄ y CO ₂ en Vertedero de Dos Aguas - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.	124
Gráfica 61. Comparativa Cantidad Metano en Vertedero de Caudete de las Fuentes - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.	125
Gráfica 62. Comparativa Cantidad Dióxido de Carbono en Vertedero de Caudete de las Fuentes - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.....	126
Gráfica 63. Comparativa Cantidad Total emisiones CH ₄ y CO ₂ en Vertedero de Caudete de las Fuentes - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.	127
Gráfica 64. Comparativa Cantidad metano en Vertedero de Algimia de Alfara- PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.	128
Gráfica 65. Comparativa Cantidad dióxido de carbono en Vertedero de Algimia de Alfara - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.	129
Gráfica 66. Comparativa Cantidad Total emisiones CH ₄ y CO ₂ en Vertedero de Algimia de Alfara - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.....	130
Gráfica 67. Comparativa Cantidad Metano en Vertedero de Alicante - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH. Fuente: propia.	131
Gráfica 68. Comparativa Cantidad dióxido de carbono en Vertedero de Alicante - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.	132
Gráfica 69. Comparativa Cantidad Total emisiones CH ₄ y CO ₂ en Vertedero de Alicante - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.	133
Gráfica 70. Comparativa Cantidad metano en Vertedero de Caudete de las Fuentes - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.....	134
Gráfica 71. Comparativa Cantidad dióxido de carbono en Vertedero de Caudete de las Fuentes - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.....	135
Gráfica 72. Comparativa Cantidad Total emisiones CH ₄ y CO ₂ en Vertedero de Elche - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.	136

Índice de figuras

Figura 1. Producción de biogás de un vertedero tipo. Fuente: [4]	35
Figura 2. Composición del BIOGAS en función del tiempo. Fuente: [5]	36
Figura 3. Composición biogás 50 vertederos RSU Europa y América del Norte. Fuente: [4]	37
Figura 4. Ecuación de la tasa de descomposición de primer orden de LandGEM. Fuente: [16]	43
Figura 5. User Inputs LandGEM. Fuente: [16]	44
Figura 6. Pantalla parámetros de LandGEM. Fuente: [16]	46
Figura 7. Pantalla selección de gases y contaminantes. Fuente: [16].....	47
Figura 8. Entrada de datos tasas de aceptación anual de residuos. Fuente: [16].....	48
Figura 9. Pantalla revisión datos LandGEM. Fuente: [16].....	49
Figura 10. Resultados obtenidos ejemplo en LandGEM. Fuente: [16].....	49
Figura 11. Funcionamiento modelo BIOLEACH. Fuente: [11]	52
Figura 12. Buscador Registro Estatal PRTR-E. Fuente: PRTR.....	57
Figura 13. Panel búsqueda registro PRTR.....	57
Figura 14. Resultado búsqueda registro PRTR.	58
Figura 15. Emisiones a la atmósfera registro PRTR. Fuente: PRTR.	58
Figura 16. Inputs LandGEM Vertedero de Xixona.	83
Figura 17. Inputs LandGEM Vertedero de Villena.	86
Figura 18. Inputs LandGEM Vertedero de Onda.	89
Figura 19. Resultados LandGEM Vertedero de Onda.	89
Figura 20. Inputs LandGEM Vertedero de Cervera del Maestre.....	92
Figura 21. Inputs LandGEM Vertedero de Dos Aguas.	95
Figura 22. Inputs LandGEM Vertedero de Caudete de las Fuentes.	98
Figura 23. Inputs LandGEM Vertedero de Algimia de Alfara.	100
Figura 24. Comparativa emisiones metano de PRTR y LandGEM Vertedero de Algimia de Alfara.....	101
Figura 25. Inputs LandGEM Vertedero de Alicante.	102
Figura 26. Inputs LandGEM Vertedero de Elche.....	104

Índice de tablas

Tabla 1. Comparación composición de RSU a nivel estatal con la Comunidad Valenciana. Fuente: Elaboración propia.	32
Tabla 2. Datos entrada composición RSU para BIOLEACH. Fuente: BIOLEACH	33
Tabla 3. Recopilación bibliografía composiciones habituales biogás. Fuente: Elaboración propia.	37
Tabla 4. Contribución relativa al efecto invernadero del Biogás. Fuente: [5].....	38
Tabla 5. Diseño hoja de cálculo LandGEM. Fuente: [16]	42
Tabla 6. Parámetro LandGEM - Tasa de generación de metano (k). Fuente: [16].....	44
Tabla 7. Parámetro LandGEM - Capacidad potencial para la generación de metano (Lo). Fuente: [16]	45
Tabla 8. Parámetro LandGEM - Concentración de compuestos orgánicos distintos del metano. Fuente: [16].....	45
Tabla 9. Componentes, gases y contaminantes LandGEM. Fuente: [16].....	46
Tabla 10. Suposiciones LandGEM. Fuente: [16]	48
Tabla 11. Inventario resultado LandGEM. Fuente: [16]	50
Tabla 12. Vertederos activos en la Comunidad Valenciana. Fuente: Elaboración propia	56
Tabla 13. Emisiones de metano del vertedero de Onda. Fuente: PRTR	59
Tabla 14. Emisiones de metano del vertedero de Cervera del Maestre. Fuente: PRTR	61
Tabla 15. Emisiones de Dióxido de Carbono del vertedero de Cervera del Maestre. Fuente: PRTR	62
Tabla 16. Emisiones metano Vertedero de Dos Aguas. Fuente: PRTR.....	63
Tabla 17. Emisiones dióxido de carbono Vertedero Dos Aguas. Fuente: PRTR	64
Tabla 18. Emisiones metano Vertedero de Caudete de las Fuentes. Fuente: PRTR	65
Tabla 19. Emisiones Dióxido de Carbono Vertedero de Caudete de las Fuentes. Fuente: PRTR	66
Tabla 20. Emisiones metano Vertedero de Algimia de Alfara. Fuente: PRTR	67
Tabla 21. Emisiones dióxido de carbono Vertedero de Algimia de Alfara. Fuente: PRTR.....	67
Tabla 22. Emisiones metano Vertedero de Alicante. Fuente: PRTR	68
Tabla 23. Emisiones metano Vertedero de Elche. Fuente: PRTR.....	69
Tabla 24. Emisiones Dióxido de Carbono Vertedero de Elche. Fuente: PRTR.....	70
Tabla 25. Emisiones Metano Vertedero de Villena. Fuente: PRTR	71
Tabla 26. Emisiones dióxido de carbono Vertedero de Villena. Fuente: PRTR	71
Tabla 27. Emisiones Metano Vertedero de Xixona. Fuente: PRTR	72
Tabla 28. Emisiones dióxido de carbono Vertedero de Xixona. Fuente: PRTR	73
Tabla 29. Indicador producción unitaria CH ₄ y CO ₂	76
Tabla 30. Ensayo de caracterización RSU empleado en BIOLEACH. Fuente: Vertedero RSU CV.....	107
Tabla 31. %de residuos disponibles para la biodegradación en BIOLEACH.	108
Tabla 32. Análisis químico elemental RSU empleado en BIOLEACH.	108
Tabla 33. Comparativa Cantidad Metano en Vertedero de Xixona - PRTR - LANDGEM – BIOLEACH.	112
Tabla 34. Comparativa Cantidad dióxido de carbono en Vertedero de Xixona - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.	113
Tabla 35. Comparativa Cantidad Metano en Vertedero de Villena - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.	115
Tabla 36. Comparativa Cantidad Dióxido de Carbono en Vertedero de Villena - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.	116
Tabla 37. Comparativa Cantidad Metano en Vertedero de Onda - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH. Fuente: propia.....	117
Tabla 38. Comparativa Cantidad Dióxido de Carbono en Vertedero de Onda - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.	118
Tabla 39. Comparativa Cantidad Metano en Vertedero de Cervera del Maestre - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.	120
Tabla 40. Comparativa Cantidad Dióxido de Carbono en Vertedero de Cervera del Maestre - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.....	121
Tabla 41. Comparativa Cantidad Metano en Vertedero de Dos Aguas - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.	123
Tabla 42. Comparativa Cantidad Dióxido de Carbono en Vertedero de Dos Aguas - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.	124
Tabla 43. Comparativa Cantidad Metano en Vertedero de Caudete de las Fuentes - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.....	126
Tabla 44. Comparativa Cantidad Dióxido de Carbono en Vertedero de Caudete de las Fuentes - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH. ..	127
Tabla 45. Comparativa Cantidad Metano en Vertedero de Algimia de Alfara- PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.....	128

Tabla 46. Comparativa Cantidad Dióxido de Carbono en Vertedero de Algimia de Alfara - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.....	129
Tabla 47. Comparativa Cantidad Metano en Vertedero de Alicante - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.....	131
Tabla 48. Comparativa Cantidad Dióxido de Carbono en Vertedero de Alicante - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.	132
Tabla 49. Comparativa Cantidad Metano en Vertedero de Caudete de las Fuentes - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.....	134
Tabla 50. Comparativa Cantidad Dióxido de Carbono en Vertedero de Caudete de las Fuentes - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH. ..	135

1. INTRODUCCIÓN

Los vertederos de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) son una de las potenciales fuentes de contaminación medioambiental más importantes, pudiendo llegar a comprometer la calidad del suelo y del agua subterránea por fugas de lixiviados a la vez que suponen una de las fuentes más importantes de emisiones de gases de efecto invernadero. Por todo ello, es fundamental disponer de herramientas de análisis y modelación que permitan describir adecuadamente el comportamiento de los vertederos de RSU, cuantificando los volúmenes de lixiviados y biogás producidos en función de las condiciones reales de operación.

El presente trabajo se ha centrado en la fuente de contaminación atmosférica que generan los vertederos de RSU en la Comunitat Valenciana, en concreto, en el análisis de la producción de biogás. Debido a que el gas de vertedero está compuesto por metano y dióxido de carbono en más de un 90% [1], en el presente trabajo se han analizado únicamente estos dos gases.

Actualmente, en la Comunitat Valenciana existen nueve vertederos activos que se asocian a los distintos planes zonales de la comunidad. Se reparten entre las tres provincias los vertederos de Onda, Cervera del Maestre, Dos Aguas, Caudete de las Fuentes, Algimia de Alfara, Alicante, Elche, Villena y Xixona.

1.1. Objetivos

Los objetivos del presente trabajo se pueden distribuir en cuatro puntos principales que se desarrollarán a lo largo del documento. Estos objetivos son los siguientes:

1. Obtención y análisis de información sobre cantidades de residuos depositados en los vertederos de RSU en operación en la CV.
2. Obtención y análisis de información sobre emisiones atmosféricas declaradas en las memorias anuales y documentos oficiales incorporados en el Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (PRTR-España) comunicados a la Unión Europea.
3. Utilización de los modelos matemáticos “Landfill Gas Emissions Model” (LandGEM-USEPA) y BIOLEACH (IIAMA-UPV) para la estimación de la producción de biogás de vertederos de RSU.
4. Evaluación de la situación ambiental y propuestas de mejora.

1.2. Introducción a los vertederos de residuos sólidos urbanos

Con la evolución de la humanidad y con el crecimiento de los núcleos urbanos, la sociedad comenzó a encontrar problemas relacionados con la eliminación de los residuos que se generaban en la época, ocasionando la aparición de los primeros vertederos. Es en la segunda mitad del siglo XX cuando se empiezan a observar los problemas medioambientales que los residuos generan al depositarlos en los vertederos.

Actualmente, los vertederos de RSU son considerados como una instalación de eliminación definitiva de residuos, pudiendo ser subterránea o en superficie. Según la Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular, solamente se podrán destinar a vertedero los residuos que ya no tengan valor de aprovechamiento para ser reutilizados o reciclados [2]. Se considera eliminación de residuos para periodos de almacenamiento superiores a 1 año para el caso de residuos no peligrosos.

En definitiva, se puede definir un vertedero de RSU como una *“obra de ingeniería en la que se emplean técnicas y maquinaria de movimiento de tierras en la que el relleno principal es el residuo sólido de origen domiciliario que se produce como rechazo de las plantas de clasificación de tratamiento de los mismos”* [3].

1.2.1. Criterios de selección del emplazamiento

Los vertederos de RSU se disponen en lugares estratégicos para que las afecciones al medioambiente y a la sociedad sean los mínimos posibles. Para ello, se tienen en cuenta una serie de criterios que se enumeran a continuación:

1. Distancia de transporte
2. Restricciones en la localización

3. Disponibilidad del terreno
4. Acceso al lugar
5. Condiciones del suelo y tipografía
6. Condiciones climatológicas
7. Hidrología de aguas superficiales
8. Condiciones geológicas e hidrogeológicas
9. Aspectos socioculturales
10. Urbanismo y restricciones ambientales
11. Condiciones ambientales locales
12. Usos potenciales tras la clausura

1.2.2. Impermeabilización y sistema de drenaje exterior

La impermeabilización del vaso y el sistema de drenaje exterior son dos aspectos más importantes que se deben tener en cuenta en el diseño del vertedero.

El objetivo principal es evitar la transferencia de los contaminantes al medio natural (aguas superficiales, aguas subterráneas, atmósfera, suelo), para ello se diseña una capa de impermeabilización del vaso de vertido y se diseñan las conducciones de captación de lixiviados normalmente en forma de espina de pez en el vaso.

1.2.3. Lixiviados y Biogás

Los lixiviados y el biogás son las dos sustancias contaminantes que se producen en los vertederos de RSU.

Los lixiviados son los líquidos que circulan a través de los residuos depositados, estos se producen debido a la fermentación y descomposición de la materia orgánica, por otro lado, es el agua procedente de la precipitación la que se percola en la masa de residuo contaminándose y siendo necesaria su captación. Los lixiviados son muy contaminantes y por ello se diseña un sistema de drenaje interior en forma de espina de pez en el vaso del vertedero con el objetivo de recoger y tratar esta sustancia.

El biogás o también llamado gas de vertedero, es el gas que se produce por la fermentación de la materia orgánica en el interior de la masa de residuo, en apartados posteriores se explica con detalle todas las características del biogás en vertederos de residuos sólidos urbanos, es este el objeto de estudio del presente análisis.

En definitiva, para toda la complejidad de un vertedero es necesario controlar que las sustancias contaminantes generen el mínimo daño posible al medioambiente y a la sociedad.

1.3. Aspectos básicos de la producción de biogás en vertederos

El biogás o también llamado gas de vertedero, se produce debido a la digestión "Anaerobia" en el interior del relleno sanitario por la fermentación de la materia orgánica contenida en los residuos (residuos alimentarios, residuos vegetales, papel, cartón y otros) [4].

En el interior de las celdas, esta materia orgánica se degrada por la acción de diversos microorganismos, que proliferan en ambientes húmedos y faltos de oxígeno. Los más activos son las llamadas bacterias «metanogénicas», cuya respiración anaeróbica produce metano (CH₄) [4].

Todo este proceso en el interior de las celdas de los vertederos produce principalmente gas metano CH₄ y dióxido de carbono CO₂ en un 90% junto con otras sustancias en menor proporción como el sulfuro de hidrógeno (H₂S), amoníaco (NH₃), hidrógeno (H₂) y otros ácidos en forma de gas o aerosol [4].

La generación de biogás es el segundo problema medioambiental en importancia, después de la producción de lixiviados, derivado del vertido de RSU. Estas emisiones contribuyen al calentamiento global de la Tierra, conocido como efecto invernadero [5].

1.4. Legislación y situación actual sobre emisiones

- **Informe de Brundtland:**

El informe fue publicado en 1987 para las Naciones Unidas, en el presente texto se utilizó por primera vez la expresión de Desarrollo Sostenible: "*Está en manos de la humanidad hacer que el desarrollo sea sostenible para asegurar que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias*".

- **Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular:**

Esta Ley tiene por objeto prevenir la producción de residuos, establecer el régimen jurídico de su producción y gestión y fomentar, por este orden, su reducción, su reutilización, reciclado y otras formas de valorización, así como regular los suelos contaminados, con la finalidad de proteger el medio ambiente y la salud de las personas.

El Gobierno podrá establecer normas para los diferentes tipos de residuos, en las que se fijaran disposiciones particulares relativas a su producción o gestión.

- **Ley 37/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.**

Esta ley tiene por objeto establecer las bases en materia de prevención, vigilancia y reducción de la contaminación atmosférica con el fin de evitar y cuando esto no sea posible, aminorar los daños que de ésta puedan derivarse para las personas, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza.

- **Real Decreto 646/2020, de 7 de julio, por el que se regula la eliminación de residuos mediante disposición en vertedero:**

El objeto del presente Real Decreto es el establecimiento de un marco jurídico y técnico adecuado para las actividades de eliminación de residuos mediante depósito en vertederos, al tiempo que regula las características de éstos y su correcta gestión y explotación, todo ello teniendo en cuenta el principio de jerarquía en la gestión de residuos y con la finalidad de proteger la salud de las personas y el medio ambiente.

Control de gases

- *Se tomarán las medidas adecuadas para controlar la acumulación y emisión de gases de vertedero. Cuando sea técnicamente viable dichas medidas serán adoptadas durante la fase de explotación de los vertederos sin esperar a su clausura.*
- *En todos los vertederos que reciban residuos biodegradables se recogerán los gases de vertedero, se tratarán y se aprovecharán. Si el gas recogido no puede ser aprovechado para ser inyectado en la red gasista, como combustible vehicular o para producir energía, se deberá oxidar mediante antorchas u otros sistemas de oxidación pasiva en aquellos vertederos que presenten tasas marginales de generación de biogás que hagan técnicamente inviable el funcionamiento de las antorchas (por ejemplo, cubiertas oxidativas).*
- *La recogida, tratamiento y aprovechamiento de gases de vertedero se llevará a cabo de forma tal que se reduzca al mínimo el daño o deterioro del medio ambiente y el riesgo para la salud humana, teniendo en especial consideración la contribución al cambio climático.*

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Contexto histórico de los RSU

En los orígenes de la humanidad, el hombre simplemente generaba residuos naturales como la madera y los restos orgánicos derivados de sus funciones vitales. Con el paso del tiempo, las ciudades y los núcleos urbanos crecen, aparecen actividades como la metalurgia, la alfarería, así como nuevos productos químicos. Debido a ello, la sociedad tuvo problemas en cuanto a la gestión de los rechazos que se generaban, formándose los primeros vertederos [6].

Durante le Edad Media, los residuos eran depositados en las calles y tampoco existían los sistemas de alcantarillado, esto generó problemas serios de higiene y transmisión de enfermedades. Es en el siglo XVIII cuando se empiezan a tomar medidas para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos [6].

A mediados del siglo XX , se acrecienta la preocupación medioambiental generada por los RSU, y estos problemas aumentan debido a que la composición de los RSU es totalmente diferente: no es lo mismo los residuos que generaba una persona hace 100 años que los que genera actualmente, por eso la gran cantidad de RSU que se generan cada día son un acelerador del cambio climático y, por tanto, la sociedad tiene la obligación de establecer medidas que ralenticen estos impactos medioambientales y poder preservar el bienestar de la sociedad [6].

Según el INE, en el año 2020, en España se recogieron 22,9 millones de toneladas de residuo. Esta cantidad significa aproximadamente una generación por cápita de 483,7 kg de RSU/habitante/año, que es igual a 1,33 kg de RSU/habitante/día.

2.2. Características fundamentales de los RSU

Los Residuos Sólidos Urbanos han existido desde el momento en el que el hombre nace, ya que en este momento se empiezan a generar residuos. La acumulación de estos de manera incorrecta genera un problema ambiental debido a la contaminación del suelo, agua y aire que producen durante su periodo de descomposición.

Los residuos sólidos incluyen todos los materiales sólidos o semisólidos que el poseedor ya no considera de suficiente valor como para ser retenidos. Por lo tanto, los Residuos Sólidos Urbanos son aquellos provenientes de fuentes comerciales, domésticas, institucionales, y construcción y demolición entre otras. La gestión de estos materiales residuales es la preocupación fundamental de todas las actividades englobadas en la gestión de residuos sólidos bien sea a nivel de planificación local, regional o estatal [7].

2.2.1. Producción y composición RSU en la Comunidad Valenciana

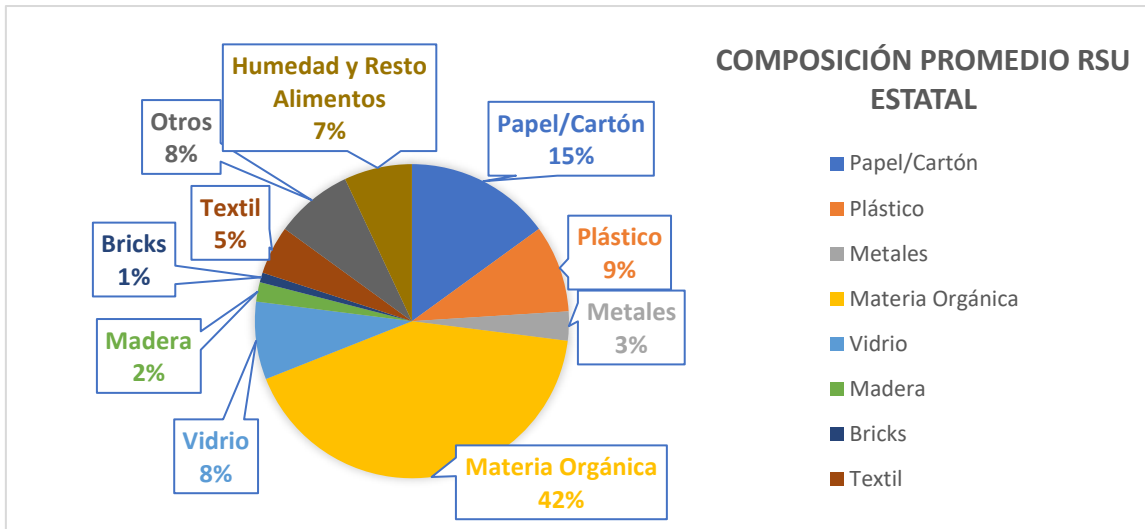
Como se ha comentado anteriormente, según el Instituto Nacional de Estadística en España, en el año 2020, se generó 1,33 kg/RSU/habitante.

La producción de RSU depende del tamaño de la población, en núcleos urbanos rurales se genera menor cantidad de RSU que en un núcleo urbano residencial, por ejemplo, en una ciudad la producción por cápita es del orden de 1,4 kg/hab/día y en un pequeño pueblo podría ser de 0,7 kg/hab/día, esto ocurre debido a que “a menor nivel de vida”, menor es el consumo y menor es la cantidad de residuos generada, además de esto, en las pequeñas poblaciones se suele recuperar parte de los residuos.

En definitiva, se tiene en cuenta que la producción y composición de los RSU depende de tres aspectos fundamentales:

- Situación geográfica de la población: clima, residuos de parques y jardines, producción agrícola, etc.
- Niveles de vida de la población, influye la cantidad y calidad de los residuos. A mayor nivel de vida mayor producción de RSU.
- Estructura económica de la ciudad: industrial o de servicios.

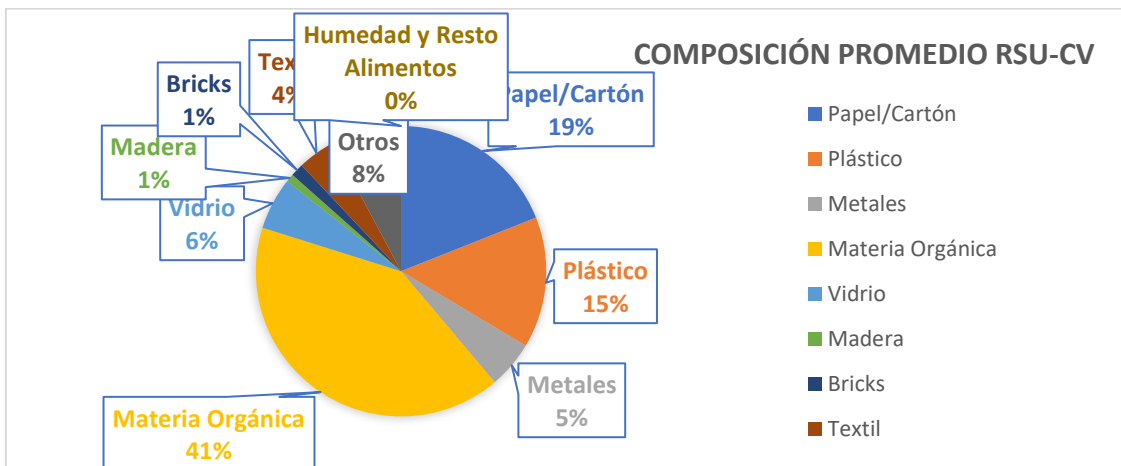
La composición promedio por materiales de los residuos de competencia municipal según el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, con el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022 es la que se representa en la gráfica 1.



Gráfica 1. Composición RSU - Estatal. Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

La composición promedio a nivel estatal se divide en diez porciones papel/cartón (15%), plástico (9%), metales (3%), materia orgánica (42%), vidrio (8%), madera (2%), bricks (1%), textil (5%), otros (8%) y humedad y resto alimentos (7%) [8].

Con todo ello se tiene un gráfico bastante actualizado (año 2022) del promedio de composiciones de un RSU. Una vez representada ésta, se ha realizado la gráfica 2, pero con los datos del documento “Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana del 2010”: papel/cartón (19%), plástico (15%), metales (5%), materia orgánica (41%), vidrio (6%), madera (1%), bricks (1%), textil (4%), otros (8%) [9].



Gráfica 2. Composición RSU Comunitat Valenciana. Fuente: Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana del 2010.

Como se observa en la tabla 1, se ha realizado una comparativa sobre la composición de los RSU de cada Plan. Se puede ver en la columna de la derecha de la tabla siguiente que las diferencias entre el plan autonómico y el nacional no son significativas, y como los datos más actualizados que se han encontrado

publicados por fuentes oficiales son los estatales, se ha supuesto que la composición de RSU de la Comunitat Valenciana es la misma que la del “Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos 2016-2022”.

Tabla 1. Comparación composición de RSU a nivel estatal con la Comunidad Valenciana. Fuente: Elaboración propia.

RESIDUOS	Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana Año 2010	Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos - Secretaría de Estado de Medio Ambiente 2016-2022	Diferencias
Papel/Cartón	19%	15%	4%
Plástico	15%	9%	6%
Metales	5%	3%	2%
Materia Orgánica	41%	42%	-1%
Vidrio	6%	8%	-2%
Madera	1%	2%	-1%
Bricks	1%	1%	0%
Textil	4%	5%	-1%
Otros	8%	8%	0%
Humedad y Resto Alimentos	-	7%	-

A partir de la tabla anterior, se puede concluir que existe una similitud entre la composición de residuos tanto en el territorio nacional como en la Comunidad Valenciana, y esta similitud se puede extrapolar dentro de la comunidad, es decir, la composición de los residuos sólidos urbanos generados en las distintas poblaciones de la comunidad valenciana será igual o muy similar.

Por otro lado, se supone una edad de las instalaciones de eliminación de residuos similar, por eso los resultados de producciones unitarias de metano y dióxido de carbono que se calcularán para cada vertedero de RSU deberían ser muy similares, pero, en apartados posteriores se verá que esto no es así.

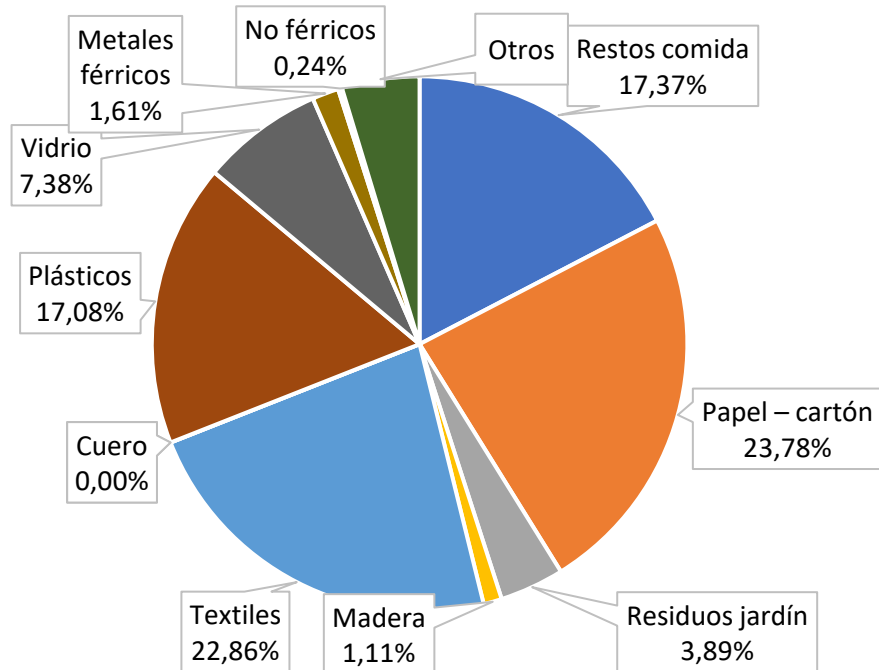
La composición del RSU anterior hace referencia al residuo que se genera antes de que el residuo entre en las plantas de tratamiento mecánico-biológico con compostaje de la Comunidad Valenciana, por lo tanto, la composición del RSU que se destina a vertedero será la resultante tras este proceso. Esta composición de residuos será utilizada en el modelo BIOLEACH para la estimación del Metano y Dióxido de Carbono generados en cada uno de los vertederos de RSU simulados. Debido a que BIOLEACH requiere como valor de entrada el porcentaje de los Residuos Rápidamente Biodegradables y Residuos Lentamente Biodegradables, se han tomado valores, 50% y 30% respectivamente [10].

La muestra inicial de 100 kg mostrada en la tabla 2 se empleará en BIOLEACH para la simulación de todos los vertederos de la Comunidad Valenciana, este ensayo de caracterización corresponde a un vertedero de la Comunidad Valenciana y, por tanto, se empleará el mismo para las simulaciones de biogás para todos los vertederos que se modelarán a continuación.

Tabla 2. Datos entrada composición RSU para BIOLEACH. Fuente: BIOLEACH

Composición de los RSU			
MUESTRA INICIAL (100 kg)			
Componente	% peso húmedo	Humedad (%)	Peso seco (kg)
Restos comida	17,4	70,0	5,2
Papel – cartón	23,8	50,0	11,9
Residuos jardín	3,9	60,0	1,6
Madera	1,1	30,0	0,8
Textiles	22,9	10,0	20,6
Goma	0,0	2,0	0,0
Cuero	0,0	10,0	0,0
Plásticos	17,1	4,0	16,4
Vidrio	7,4	2,0	7,2
Metales férricos	1,6	3,0	1,6
No férricos	0,2	3,0	0,2
Otros	4,7	30,0	3,3
TOTAL	100,0	31,29	68,7

% de RRB disponibles para degradación	50,00%
% de RLB disponibles para degradación	30,00%



Gráfica 3. Composición RSU para BIOLEACH. Fuente: BIOLEACH

Se puede observar (gráfica 3) que los RSU se componen principalmente de cuatro categorías (papel-cartón, restos de comida, plásticos y textiles), los cuales en conjunto abarcan aproximadamente el 81%

de los RSU, dejando el restante 19% a las categorías de vidrio, residuos de jardín, madera, metales y otros. Por esta razón, se considera un porcentaje de RRB del 50% y de 30% para los RLB, estos valores deben ser objeto de calibración específica [11].

2.3. Biogás en vertederos de RSU

Este gas está compuesto fundamentalmente por metano y dióxido de carbono y otros gases en menor proporción [1]. El metano es un hidrocarburo alcano y a su vez es el compuesto orgánico más sencillo que existe (un átomo de carbono unido a cuatro átomos de hidrógeno). Puede desencadenar explosiones dentro del relleno, no es tóxico, pero se considera gas de efecto invernadero ya que tiene un potencial de calentamiento superior al dióxido de carbono.

Emisiones de biogás y producción de lixiviados son dos de los aspectos más importantes a controlar en un vertedero de RSU.

La composición del biogás varía mucho a lo largo del tiempo, y en función del proceso de degradación de la materia orgánica.

La variabilidad de la composición de los residuos, el proceso de fermentación y los factores externos son los grados de libertad en la proporción de cada uno de los gases que forman el gas de vertedero. A pesar de todos ellos, las proporciones de gases cumplen siempre unos valores dentro de unos intervalos, estas se verán a continuación.

2.3.1. La producción de biogás

La producción de biogás en un vertedero de RSU es variable en el tiempo, esta se prolonga durante décadas, durante la fase de explotación del vertedero la generación de gas aumenta alcanzando su valor máximo meses después de que se haya depositado el último residuo, tras este punto la fase de clausura del vertedero continúa generando gas de vertedero hasta que se degrada por completo la materia orgánica. En la figura 1 se ve claramente lo que ocurre en cuando a la producción de biogás en un vertedero tipo en función del tiempo [4].

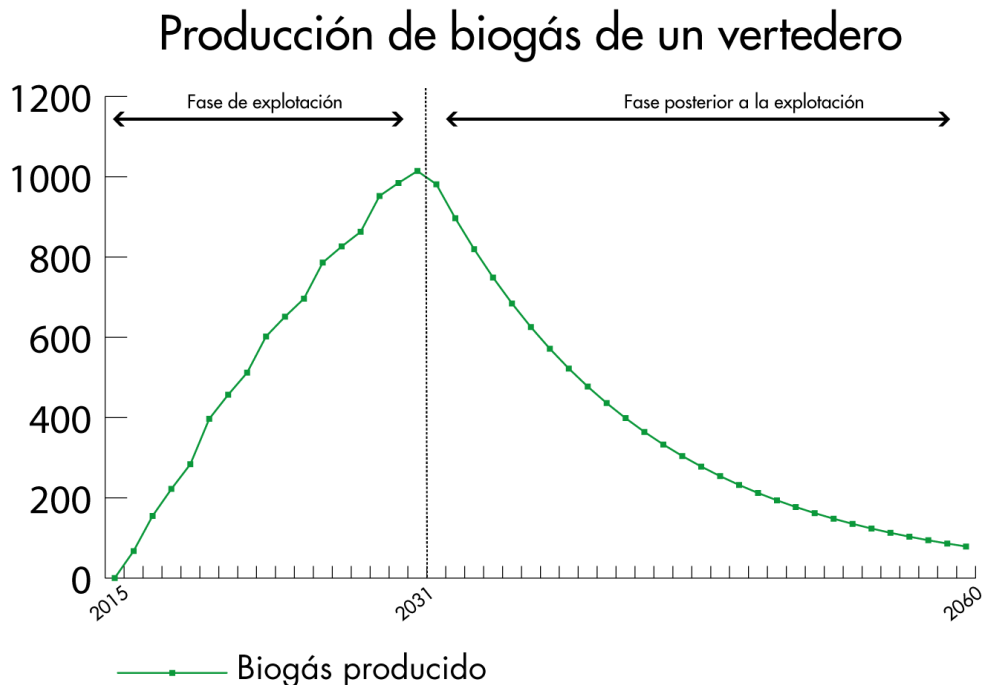


Figura 1. Producción de biogás de un vertedero tipo. Fuente: [4]

Como se verá en apartados posteriores, en la modelación de producción de biogás de los vertederos de la Comunidad Valenciana, los gráficos tendrán esta misma forma, creciente en la etapa de explotación y decrecientes a lo largo de muchos años en la etapa de clausura.

2.3.2. Composición del biogás

La composición concreta del biogás depende del tipo de residuo (aguas residuales, vertederos, residuos agrícolas y ganaderos, subproductos carbonatados de la industria, etc.), así como de los parámetros del proceso de digestión (temperatura, pH, tiempo de residencia, etc.). En el presente análisis se trata la composición del biogás de los residuos que se depositan en los vertederos de residuos sólidos urbanos.

Este apartado se divide en dos secciones, la primera de ellas trata sobre la evolución del gas de vertedero en función del tiempo, y la segunda trata sobre la concentración habitual de los gases que conforman el biogás.

Composición del biogás en función del tiempo

La composición del Biogás en vertederos de RSU, como ya se ha explicado con anterioridad, la digestión anaerobia es un proceso complejo que desencadena la generación de gas de vertedero cuya composición es variable en función del tiempo. La evolución de la composición del biogás en función del tiempo se muestra en la figura 2, donde aparecen cuatro fases bien diferenciadas [5].

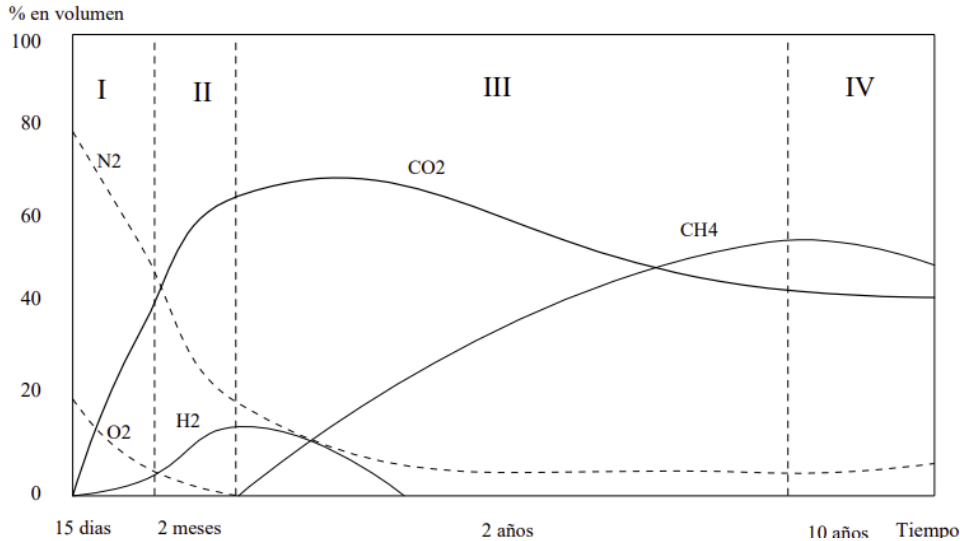


Figura 2. Composición del BIOGÁS en función del tiempo. Fuente: [5]

- **Fase I:** El oxígeno que queda en los residuos recién depositado es consumido rápidamente, se produce compost de la materia orgánica fácilmente biodegradable y se emite dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera.
- **Fase II:** Empieza aproximadamente a los dos meses de la deposición de los residuos. Actúan las bacterias fermentativas y acidogénicas que producen bajo condiciones anaerobias, ácidos grasos volátiles, dióxido de carbono e hidrógeno y la cantidad de nitrógeno se reduce. Todo ello con ausencia de metano (CH_4).
- **Fase III:** Empieza aproximadamente a los dos años de la deposición de los residuos, esta etapa se considera como la segunda fase de la digestión anaerobia, aquí actúan las bacterias metanogénicas produciendo metano (CH_4), durante esta fase el CO_2 y el hidrógeno reducen su proporción relativa.
- **Fase IV:** La última fase empieza a partir de los 10 años de la última disposición de los residuos, en esta etapa se consigue una estabilización del metano, y el dióxido de carbono en reducido en parte a metano.

Cabe destacar que estas cuatro fases son ilustrativas y tienen una visión general de la composición del biogás a lo largo del tiempo, pero hay que tener en cuenta que la duración de cada fase depende de los condicionantes ambientales, la gestión del vertedero, tratamiento de los RSU, etc.

Concentración de los componentes del biogás

Por otro lado, ahora se trata la concentración de los componentes que conforman en biogás en los vertederos de RSU.

Una visión global de la composición del gas de vertedero se puede con la figura 3, que representa la composición de biogás de cincuenta vertederos en Europa y América del Norte, en ella se representan los gases con una mayor presencia en volumen como son el metano, el dióxido de carbono, el oxígeno y el nitrógeno.

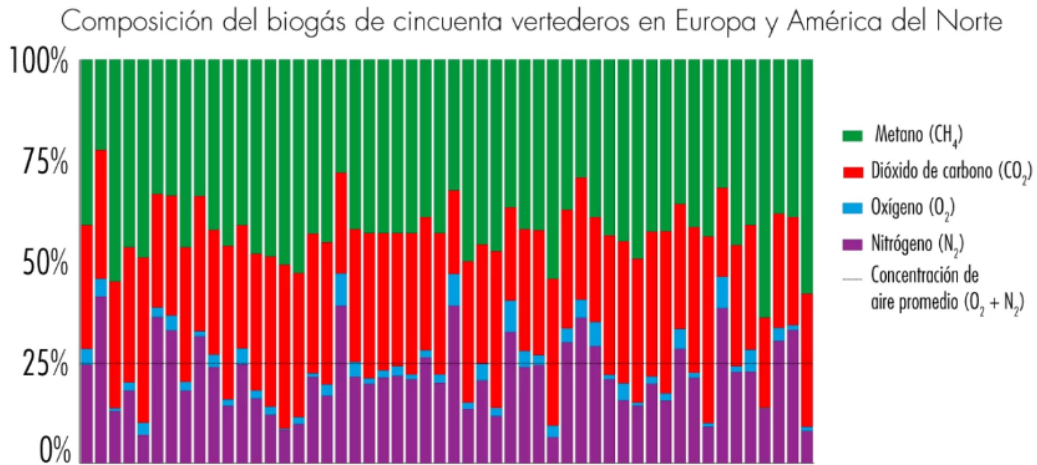


Figura 3. Composición biogás 50 vertederos RSU Europa y América del Norte. Fuente: [4]

Como se puede observar en la figura 3, no hay excesiva disparidad para estar comparando 50 vertederos de lugares tan remotos, por lo tanto, dentro de la Comunidad Valenciana, la concentración de componentes del biogás se podrá suponer que es prácticamente la misma.

Recopilando bibliografía, se muestra en la tabla 3 las composiciones habituales según varios autores:

Tabla 3. Recopilación bibliografía composiciones habituales biogás. Fuente: Elaboración propia.

Componente	Cantidad (%) / (mg/m ³ N)			
	Guidance on the management of landfill gas (Valores típicos) – SEPA [12]	Guidance on the management of landfill gas (Valores máximos) – SEPA [12]	Emisiones de biogás producidas en rellenos sanitarios [13]	Tesis Doctoral Santiago Martin González [5]
Metano (CH ₄)	63,8 %	88 %	30-65 %	40-60 %
Dióxido de Carbono (CO ₂)	33,6 %	89,3 %	20-40 %	40-60 %
Oxígeno (O ₂)	0,16 %	20,9 %	0-5%	-
Nitrógeno (N ₂)	2,4 %	87 %	5-40%	5%
Hidrógeno (H ₂)	0,05 %	21,1 %	1-3 %	-
Amoniaco NH ₃	-	-	-	30 mg/m ³ N
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	-	-	0-0,01 %	0,015 mg/m ³ N
Trazas de vapor de agua	1,8 %	4 %	0-100 %	-

En la tabla 3 se destaca en negrita la composición que se ha empleado como referencia para analizar las composiciones de biogás de los distintos vertederos a lo largo del apartado 5.2.1.

2.3.3. Densidad del biogás, metano y dióxido de carbono

En cuanto a la densidad del biogás (cuyo valor se encuentra habitualmente entre 1,1 y 1,6 kg/m³) en el presente análisis se va a diferenciar entre la densidad del metano y la densidad del dióxido de carbono. La densidad del metano se encuentra en torno a 0,65 kg/m³ [14]. Este valor de densidad se ha comparado con el que toma LandGEM para sus cálculos, es decir, como LandGEM ofrece los resultados de emisiones tanto en t/año como en m³/año, de aquí se ha sacado la relación y la densidad resulta ser de 0,67 kg/m³, valor muy próximo al valor de la bibliografía, por lo tanto, para la obtención de los valores en t/año de BIOLEACH, se ha empleado la misma densidad que LANDGEM.

La densidad del dióxido de carbono se encuentra en torno a 1,97 kg/m³ [15], del mismo modo que se ha procedido con el metano, se ha calculado la densidad del CO₂ que utiliza LandGEM, el valor resulta ser de 1,83 kg/m³ y con este valor se ha calculado las t/año de CO₂ estimadas con BIOLEACH.

2.3.4. El biogás y el efecto invernadero

Además de ser el metano y el dióxido de carbono los gases con mayor presencia en la composición del biogás, cabe destacar que el metano es unas 20 veces más eficaz atrapando calor en la atmósfera que el dióxido de carbono. Comparado con el CO₂ y tomando un horizonte temporal de 100 años, el CH₄ tiene un potencial 11 veces superior sobre el calentamiento global, es decir, la emisión de una sola tonelada de metano a la atmósfera es tan negativa como la emisión de 11 toneladas de dióxido de carbono [5].

En cuanto a la contribución relativa al efecto invernadero, es el CO₂ el gas con un 66% de peso seguido del CH₄ con un 18%, es esta una de las razones por la que se ha realizado el presente análisis de emisiones de biogás en los vertederos de RSU de la Comunidad Valenciana (tabla 4).

Tabla 4. Contribución relativa al efecto invernadero del Biogás. Fuente: [5]

<i>Gas</i>	<i>Contribución relativa al efecto invernadero (%)</i>
CO ₂	66 %
CH ₄	18 %
CFC (clorofluorocarbonos)	11 %
Óxidos de nitrógeno	5 %

2.4. Modelos numéricos para la estimación del biogás

Para la estimación de la producción de biogás, se van a emplear dos modelos numéricos: LandGEM y BIOLEACH.

LandGEM ha sido desarrollado por la United States Environmental Protection Agency y es una herramienta de cálculo automático implementado en una hoja Excel que estima la tasa de emisiones de

gases que se producen en vertederos de residuos sólidos urbanos. Los datos necesarios para los cálculos aparecen con detalle en el apartado 3. *Modelo LandGEM*.

En segundo lugar, BIOLEACH es un software desarrollado por la Universitat Politècnica de València y es un modelo de soporte a la gestión de vertederos de residuos sólidos urbanos. Este modelo se basa en la ecuación de balance hídrico y además cuenta con diferentes módulos, de los cuales, en el presente análisis se empleará solamente el módulo nº1 relacionado con la producción de biogás. Todos los datos necesarios para el cálculo se explican con detalle en el apartado 4. *Modelo BIOLACH*.

3. *MODELO LANDGEM*

3.1. Introducción

Este modelo ha sido desarrollado por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (USEPA, *United States Environmental Protection Agency*) siguiendo una cinética de primer orden. LandGEM es una herramienta de estimación automatizada con una interfaz de Microsoft Excel que se puede utilizar para estimar las tasas de emisión de gases de efecto invernadero, metano, dióxido de carbono y otra serie de contaminantes atmosféricos en menor cantidad en vertederos de residuos sólidos urbanos [16].

LandGEM es un software considerado como una herramienta de detección, es decir que los resultados serán mejores cuanto mejores sean las aproximaciones de los parámetros introducidos. Como se verá en los apartados de simulación de emisiones, estos parámetros son difíciles de estimar, hay problemas en conocer las cantidades de residuos exactos que se encuentran depositados, también es complicado conocer la composición exacta y cuáles han sido las prácticas operativas de gestión a lo largo del tiempo. Por ejemplo, los cambios en las formas de operar en los vertederos también pueden originar la generación de más gas a un ritmo más rápido [17].

El presente modelo utiliza una serie de parámetros (tasa de generación de metano, capacidad potencial de generación del metano, concentración de compuestos orgánicos distintos del metano, contenido en metano) que serán sometidos a un análisis de sensibilidad para calibrar el modelo. Estos parámetros

predeterminados se dividen en dos grupos, por un lado, los valores predeterminados de CAA y por otro los valores de inventario, más adelante se explicará cada uno de los parámetros con mayor detalle.

Los operadores de los vertederos de Residuos Sólidos Urbanos pueden utilizar LandGEM para determinar si un vertedero cumple con las normativas de emisiones específica para cada país o comunidad.

3.2. Diseño de la hoja de cálculo

LandGEM es un software implementado en archivo de Microsoft Excel, esta se divide en nueve hojas de trabajo, a continuación, se muestra una tabla que resume las funciones de cada una de las pestañas del programa de cálculo.

Tabla 5. Diseño hoja de cálculo LandGEM. Fuente: [16]

Hoja de trabajo	Función
<i>1-Introducción</i>	Explicación general del modelo y notas importantes de uso.
<i>2-Entrada de datos del usuario</i>	Introducción por parte del usuario de parámetros del modelo y las características del vertedero.
<i>3-Contaminantes</i>	Permite al usuario modificar las concentraciones de contaminantes del aire y los pesos moleculares de los contaminantes existentes y agregar hasta 10 nuevos contaminantes.
<i>4-Revisión de los datos de entrada</i>	Permite la revisión de los datos de entrada.
<i>5-Metano</i>	Calcula estimaciones de metano utilizando la ecuación de tasa de descomposición de primer orden.
<i>6-Resultados</i>	Muestra estimaciones de emisiones de gases tabuladas para un máximo de cuatro gases seleccionados por el usuario en la hoja nº2.
<i>7-Gráficos</i>	Muestra los valores de resultados de las estimaciones de la hoja anterior en forma de gráficos.
<i>8-Inventario</i>	Muestra las estimaciones tabuladas para todos los gases o contaminantes para un solo año especificado por el usuario
<i>9-Resumen</i>	Permite observar y revisar los datos introducidos por el usuario y verificarlos.

LandGEM se basa en una ecuación de tasa de descomposición de primer orden para cuantificar las emisiones de la descomposición de los residuos depositados en los vertederos de RSU.

El software proporciona un enfoque relativamente simple para estimar emisiones de gases. Los valores predeterminados del modelo se basan en datos empíricos de vertederos de EE. UU. Los datos empíricos de campo son los datos que se deben utilizar en el modelo, pero cuando no se pueden conocer se utilizan los valores predeterminados que ofrece el modelo.

El método de estimación utilizado es simple, por lo tanto, como los datos disponibles en la realidad son limitados, no se justifica el uso de un método más sofisticado que LandGEM.

3.3. Ecuación de tasa de descomposición de primer orden

LandGEM utiliza la siguiente ecuación de tasa de descomposición de primer orden para estimar las emisiones anuales durante un periodo de tiempo que el usuario especifique. Los parámetros del modelo son k y L_0 utilizados en la siguiente ecuación de descomposición:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 k \cdot L_0 \cdot \frac{M_i}{10} \cdot e^{-kt_{ij}}$$

Figura 4. Ecuación de la tasa de descomposición de primer orden de LandGEM. Fuente: [16]

Donde:

- Q_{CH_4} : metano generado ($m^3 CH_4/año$)
- K : constante de generación de metano (0,04) ($año^{-1}$)
- L_0 : potencial de generación de metano (100) ($m^3 CH_4/t RSU$)
- M_i : masa de residuos en la sección i (t RSU)
- t_i : edad de la sección i considerada ($año^{-1}$)
- i : incremento de un año
- j : incremento de 0,1 año
- t_{ij} : edad de la sección j de la masa de residuos M vertida en el año i .

3.4. Datos de entrada y de salida

En primer lugar, en cuanto a los datos de entrada que se introducen en el modelo numérico, se recurre a la hoja "User Inputs", a continuación, se va a detallar la introducción de todos los datos necesarios.

3.4.1. Características del vertedero

1. **Nombre o identificador del vertedero:** Información organizativa, no influye en el cálculo de las emisiones
2. **Año de apertura del relleno sanitario:** Año de apertura en formato de cuatro dígitos
3. **Año de cierre del vertedero:** Último año en el que el vertedero aceptó residuos o año en el que se espera que el vertedero llegue a la capacidad de diseño, pero si no se

conoce este dato, el modelo puede calcular el año de cierre. El modelo limita a 80 el número de años en los que se pueden aceptar residuos.

4. **Opción para que el modelo calcule el año de cierre:** Cuando se desconoce el año de clausura, el modelo es capaz de calcularlo.
5. **Capacidad de diseño:** es la cantidad de residuos que se pueden eliminar en el vertedero, las unidades tanto en este input como en el resto del programa, los “megagrams” son lo mismo que las toneladas en el sistema de unidades internacional.

Figura 5. User Inputs LandGEM. Fuente: [16]

3.4.2. Determinación de los parámetros del modelo

El software LandGEM se basa en varios parámetros del modelo para estimar emisiones de los vertederos de RSU:

Tasa de generación de metano (k): Determina la tasa de generación de metano para la cantidad de residuos depositados en vertedero, a mayor valor de k, más rápido aumenta la tasa de generación de metano y luego decrece con el tiempo. Esta tasa depende del contenido en humedad de la masa de desecho, disponibilidad de los nutrientes necesarios para que los microorganismos puedan desempeñar sus funciones de descomposición, pH del residuo y la temperatura (tabla 6).

Tabla 6. Parámetro LandGEM - Tasa de generación de metano (k). Fuente: [16]

Tipo predeterminado	Tipo de vertedero	Valor K (año ⁻¹)
CAA	Convencional	0.05 (Predeterminado)
CAA	Zona árida	0.02
Inventario	Convencional	0.04
Inventario	Zona árida	0.02
Inventario	Húmedo (biorreactor)	0.7

Capacidad potencial para la generación de metano (L₀): Solamente depende del tipo de residuo que se encuentra almacenado en el vertedero, cuanto mayor sea el contenido de celulosa mayor será el valor de

L_0 , la celulosa se encuentra en cereales, frutas y verduras principalmente.[18]. Para LandGEM, los valores predeterminados, son característicos de los RSU (tabla 7).

Tabla 7. Parámetro LandGEM - Capacidad potencial para la generación de metano (L_0). Fuente: [16]

Tipo de emisión	Tipo de vertedero	Valor L_0 (m ³ /tonelada)
CAA	Convencional	170 (Predeterminado)
CAA	Zona árida	170
Inventario	Convencional	100
Inventario	Zona árida	100
Inventario	Húmedo (biorreactor)	96

Concentración de compuestos orgánicos distintos del metano: este parámetro es función de los tipos de residuos del vertedero y el alcance de las reacciones que producen varios compuestos a partir de la descomposición anaeróbica de los desechos. Las unidades son en partes por millón de hexano (ppmv as hexane) (tabla 8).

Tabla 8. Parámetro LandGEM - Concentración de compuestos orgánicos distintos del metano. Fuente: [16]

Tipo de emisión	Valor NMOC Concentration (ppmv as hexane)
CAA	4000 (Predeterminado)
Inventario	600 (Disposición conjunta de residuos peligrosos o se desconoce)
Inventario	2400 (Disposición conjunta de residuos peligrosos)

Contenido en metano: medido en tanto por cien del volumen, el valor CAA predeterminado es de un 50% del volumen, esto para LandGEM representa que el gas de vertedero está compuesto un 50% por metano y un 50% de carbono, se pueden utilizar valores propuestos por el usuario, pero para vertederos de RSU, no se recomienda contenidos de metano fuera del rango 40%-60%, la ecuación de la tasa de descomposición de primer orden expuesta anteriormente puede no ser válida fuera de este rango.

En la figura 6 se observa que, además, todos los valores predeterminados pueden ser sustituidos por valores introducidos por el usuario cuando se conozcan muy bien los parámetros para un modelo en concreto.

2: DETERMINE MODEL PARAMETERS

Methane Generation Rate, k (year⁻¹)	User-specified <input type="text"/>	User-specified value: <input type="text"/>
Potential Methane Generation Capacity, L₀ (m³/Mg)	User-specified <input type="text"/>	User-specified value: <input type="text"/>
NMOC Concentration (ppmv as hexane)	User-specified <input type="text"/>	User-specified value: <input type="text"/>
Methane Content (% by volume)	User-specified <input type="text"/>	User-specified value: <input type="text"/>

Figura 6. Pantalla parámetros de LandGEM. Fuente: [16]

3.4.3. Selección de gases y contaminantes

Como tercer input del modelo, aparece la selección de gases o contaminantes de los cuales se quiere obtener el resultado, la lista de todos ellos se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Componentes, gases y contaminantes LandGEM. Fuente: [16]

Componentes gases y contaminantes	
Gases	Gas de vertedero total
	Metano
	Dióxido de carbono
	Compuestos orgánicos distintos del metano (NMOC)
Contaminantes	1,1,1- Tricloroetano (metilcloroformo)
	1,1,2,2- Tetracloroetano
	1,1- Dicloroetano (dicloruro de etilideno)
	1,1- Dicloroetano (cloruro de vinilideno)
	1,2- Dicloroetano (dicloruro de etileno)
	1,2- Dicloropropano (dicloruro de propileno)
	2- Propanol (alcohol isopropílico)
	Acetona
	Acilonitrilo
	Benceno
	Bromodiclorometano
	Butano
	Disulfuro de carbono
	Monóxido de carbono
	Tetracloruro de carbono
	Sulfuro de carbonilo
	Clorobenceno
	Clorodifluorometano
Cloroetano (cloruro de etilo)	
Cloroformo	
Clorometano	
Diclorobenceno	

Diclorodifluorometano
Diclorofluorometano
Diclorometano (cloruro de metileno)
Sulfuro de dimetilo (sulfuro de metilo)
Etano
Etanol
Etil mercaptano (etanotiol)
Etilbencina
Dibromuro de etileno
Fluorotriclorometano
Hexano
Sulfuro de hidrógeno
Mercurio (total)
Metiletilcetona
Metilisobutilcetona
Metil mercaptano
pentano
Percloroetileno (tetracloroetileno)
Propano
t-1,2-Dicloroeteno
Tolueno
Tricloroetileno (tricloroeteno)
Cloruro de vinilo
Xilenos

Conocidos todos los gas y contaminantes que calcula LandGEM, en la pantalla de inputs el software se permite seleccionar los gases que se muestran en la pantalla de resultados (figura 7).

Figura 7. Pantalla selección de gases y contaminantes. Fuente: [16]

3.4.4. Entrada de datos de aceptación de residuos

Por último, en la pantalla de introducción de los inputs, aparece a la derecha la entrada de datos de aceptación de los residuos por años con unidades de “mg/year” que son equivalentes a las toneladas por año (figura 8).

4: ENTER WASTE ACCEPTANCE RATES

Input Units:

Year	Input Units (Mg/year)	Calculated Units (short tons/year)
1970	100.000	110.000
1971	100.000	110.000
1972	100.000	110.000
1973	100.000	110.000
1974	100.000	110.000
1975	100.000	110.000
1976	100.000	110.000
1977	100.000	110.000
1978	100.000	110.000
1979	100.000	110.000
1980	100.000	110.000
1981	100.000	110.000
1982	100.000	110.000
1983	100.000	110.000
1984	100.000	110.000

Figura 8. Entrada de datos tasas de aceptación anual de residuos. Fuente: [16]

El modelo LandGEM, establece una serie de suposiciones que se explican en el manual del usuario, en la tabla 10 se explica el comportamiento del modelo.

Tabla 10. Suposiciones LandGEM. Fuente: [16]

Si tu...	Entonces LandGEM...
Ingresas las tasas de aceptación más allá del Año de cierre del vertedero...	Ignora las tasas de aceptación que ingresó después de la Año de cierre del vertedero.
Ingresas las tasas de aceptación hasta el año en curso, pero no hasta el Año de cierre del vertedero...	Aplica la tasa de aceptación final (o más reciente) que ingresó a los años entre el año actual y el Año de cierre del vertedero.
Ingresas las tasas de aceptación hasta el año actual y eliges que el modelo calcule el año de cierre...	Aplica la tasa de aceptación final (o más reciente) que ingresó a cada año sucesivo que no tenga una tasa de aceptación hasta que se alcance la capacidad de diseño de residuos. Se puede usar una tasa de aceptación menor el último año para lograr la capacidad de diseño exacta. El último año en que el vertedero recibe desechos se convierte en el año de cierre.

La revisión de todos los datos introducidos aparece en la cuarta hoja del modelo, aquí el usuario es capaz de revisar todos los inputs para que los cálculos que se realicen sean de acuerdo con lo deseado (figura 9).

LANDFILL CHARACTERISTICS		WASTE ACCEPTANCE RATES		
Landfill Open Year	1970	Year	(Mg/year)	(short tons/year)
Landfill Closure Year (with 80-year limit)	2005	1970	100.000	110.000
Actual Closure Year (without limit)	2005	1971	100.000	110.000
Have Model Calculate Closure Year?	Yes	1972	100.000	110.000
Waste Design Capacity	5.000.000 megagrams	1973	100.000	110.000
		1974	100.000	110.000
		1975	100.000	110.000
		1976	100.000	110.000
		1977	100.000	110.000
		1978	100.000	110.000
		1979	100.000	110.000
		1980	100.000	110.000
		1981	100.000	110.000
		1982	100.000	110.000
		1983	100.000	110.000
		1984	100.000	110.000
		1985	100.000	110.000

Figura 9. Pantalla revisión datos LandGEM. Fuente: [16]

3.5. Visualización de datos, gráficas de resultados e inventario

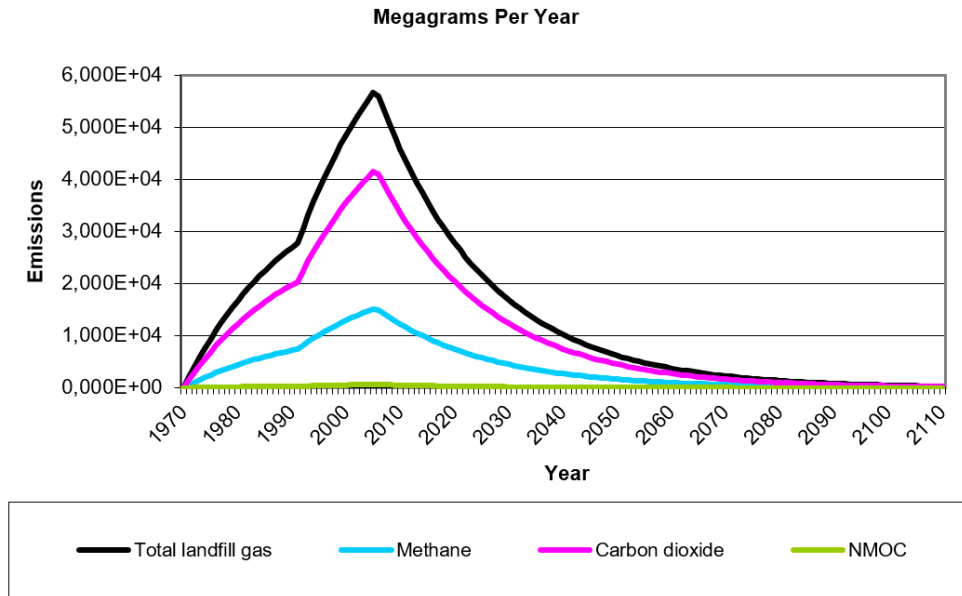
En la sexta hoja de LandGEM se muestran los resultados tabulados en tablas de los gases o contaminantes seleccionados en la hoja de inputs.

En esta pantalla (figura 10), aparecen los datos de año de cierre o de clausura, el porcentaje de generación de metano, los años, la aceptación de residuos y la cantidad de los gases seleccionados en diferentes unidades.

Year	Waste Accepted		Waste-in-Place		Total landfill gas			Methane			Carbon dioxide	
	(Mg/year)	(short tons/year)	(Mg)	(short tons)	(Mg/year)	(m ³ /year)	(short tons/year)	(Mg/year)	(m ³ /year)	(short tons/year)	(Mg/year)	(m ³ /year)
1970	100.000	110.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1971	100.000	110.000	100.000	110.000	2.079E+03	1.682E+06	2.284E+03	5.545E+02	8.312E+05	6.100E+02	1.521E+03	8.312E+05
1972	100.000	110.000	200.000	220.000	4.061E+03	3.244E+06	4.456E+03	1.082E+03	1.622E+06	1.190E+03	2.989E+03	1.622E+06
1973	100.000	110.000	300.000	330.000	5.929E+03	4.748E+06	6.522E+03	1.584E+03	2.374E+06	1.742E+03	4.345E+03	2.374E+06
1974	100.000	110.000	400.000	440.000	7.716E+03	6.179E+06	8.488E+03	2.061E+03	3.089E+06	2.267E+03	5.655E+03	3.089E+06
1975	100.000	110.000	500.000	550.000	9.418E+03	7.540E+06	1.036E+04	2.515E+03	3.770E+06	2.767E+03	6.901E+03	3.770E+06
1976	100.000	110.000	600.000	660.000	1.103E+04	8.834E+06	1.214E+04	2.947E+03	4.417E+06	3.242E+03	8.086E+03	4.417E+06
1977	100.000	110.000	700.000	770.000	1.257E+04	1.007E+07	1.383E+04	3.358E+03	5.033E+06	3.693E+03	9.213E+03	5.033E+06
1978	100.000	110.000	800.000	880.000	1.403E+04	1.124E+07	1.544E+04	3.748E+03	5.619E+06	4.123E+03	1.028E+04	5.619E+06
1979	100.000	110.000	900.000	990.000	1.542E+04	1.235E+07	1.697E+04	4.120E+03	6.170E+06	4.532E+03	1.130E+04	6.170E+06
1980	100.000	110.000	1.000.000	1.100.000	1.675E+04	1.341E+07	1.842E+04	4.474E+03	6.708E+06	4.921E+03	1.227E+04	6.708E+06
1981	100.000	110.000	1.100.000	1.210.000	1.801E+04	1.442E+07	1.981E+04	4.810E+03	7.210E+06	5.291E+03	1.320E+04	7.210E+06
1982	100.000	110.000	1.200.000	1.320.000	1.921E+04	1.538E+07	2.113E+04	5.130E+03	7.689E+06	5.643E+03	1.408E+04	7.689E+06
1983	100.000	110.000	1.300.000	1.430.000	2.034E+04	1.629E+07	2.238E+04	5.434E+03	8.146E+06	5.978E+03	1.491E+04	8.146E+06
1984	100.000	110.000	1.400.000	1.540.000	2.143E+04	1.716E+07	2.357E+04	5.724E+03	8.579E+06	6.296E+03	1.570E+04	8.579E+06
1985	100.000	110.000	1.500.000	1.650.000	2.248E+04	1.798E+07	2.471E+04	5.999E+03	8.992E+06	6.599E+03	1.646E+04	8.992E+06
1986	100.000	110.000	1.600.000	1.750.000	2.344E+04	1.877E+07	2.578E+04	6.267E+03	9.385E+06	6.887E+03	1.718E+04	9.385E+06
1987	100.000	110.000	1.700.000	1.870.000	2.437E+04	1.952E+07	2.681E+04	6.510E+03	9.758E+06	7.161E+03	1.786E+04	9.758E+06
1988	100.000	110.000	1.800.000	1.980.000	2.526E+04	2.023E+07	2.779E+04	6.747E+03	1.011E+07	7.422E+03	1.851E+04	1.011E+07
1989	100.000	110.000	1.900.000	2.090.000	2.610E+04	2.090E+07	2.871E+04	6.973E+03	1.045E+07	7.670E+03	1.913E+04	1.045E+07
1990	100.000	110.000	2.000.000	2.200.000	2.691E+04	2.155E+07	2.960E+04	7.187E+03	1.077E+07	7.906E+03	1.972E+04	1.077E+07

Figura 10. Resultados obtenidos ejemplo en LandGEM. Fuente: [16]

En cuanto a la visualización gráfica de los resultados, el modelo muestra resultados como la gráfica 4.



Gráfica 4. Ejemplo resultados LandGEM. Fuente: [16]

Por último, y para finalizar la explicación del funcionamiento de LandGEM, en la pestaña de Inventario, se puede obtener para el año que se desee la cantidad de todos los gases y contaminantes que se han generado en el vertedero de RSU analizado (tabla 11).

Tabla 11. Inventario resultado LandGEM. Fuente: [16]

Gas / Pollutant	Emission Rate				
	(Mg/year)	(m ³ /year)	(av ft ³ /min)	(ft ³ /year)	(short tons/year)
Total landfill gas	4,661E+04	3,733E+07	2,508E+03	1,318E+09	5,128E+04
Methane	1,245E+04	1,866E+07	1,254E+03	6,591E+08	1,370E+04
Carbon dioxide	3,416E+04	1,866E+07	1,254E+03	6,591E+08	3,758E+04
NMOC	5,352E+02	1,493E+05	1,003E+01	5,273E+06	5,887E+02
1,1,1-Trichloroethane (methyl chloroform) - HAP	9,942E-02	1,792E+01	1,204E-03	6,327E+02	1,094E-01
1,1,1,2,2-Tetrachloroethane - HAP/VOC	2,867E-01	4,106E+01	2,759E-03	1,450E+03	3,153E-01
1,1-Dichloroethane (ethylidene dichloride) - HAP/VOC	3,688E-01	8,958E+01	6,019E-03	3,164E+03	4,056E-01
1,1-Dichloroethene (vinylidene chloride) - HAP/VOC	3,010E-02	7,465E+00	5,016E-04	2,636E+02	3,311E-02
1,2-Dichloroethane (ethylene dichloride) - HAP/VOC	6,299E-02	1,530E+01	1,028E-03	5,405E+02	6,929E-02
1,2-Dichloropropane (propylene dichloride) - HAP/VOC	3,158E-02	6,719E+00	4,514E-04	2,373E+02	3,473E-02
2-Propanol (isopropyl alcohol) - VOC	4,666E+00	1,866E+03	1,254E-01	6,591E+04	5,133E+00
Acetone	6,312E-01	2,613E+02	1,756E-02	9,227E+03	6,943E-01
Acrylonitrile - HAP/VOC	5,190E-01	2,352E+02	1,580E-02	8,305E+03	5,709E-01
Benzene - No or Unknown Co-disposal - HAP/VOC	2,304E-01	7,092E+01	4,765E-03	2,505E+03	2,535E-01
Benzene - Co-disposal - HAP/VOC	1,334E+00	4,106E+02	2,759E-02	1,450E+04	1,467E+00

Con toda la explicación anterior, se puede tener una visión global del funcionamiento del software LandGEM. Se han visto cada una de las pestañas de la hoja Excel, por lo tanto, ya se puede empezar a modelizar las emisiones de los vertederos de Residuos Sólidos Urbanos de la Comunitat Valenciana y llevar a cabo el análisis de emisiones objeto del presente estudio.

Como se ha podido observar a lo largo de la explicación, este modelo no necesita excesivos datos para la estimación de las emisiones de gases y contaminantes, por lo que, para contrastar y comparar, se ha optado por la utilización de otro modelo matemático llamado BIOLEACH, este modelo matemático se fundamenta en la ecuación de balance hídrico que permite realizar la evaluación conjunta de la producción de lixiviados y biogás en vertederos de RSU [11].

4. MODELO BIOLEACH

4.1. Introducción

BIOLEACH es un modelo matemático de gestión para vertederos fundamentado en la ecuación de balance hídrico que permite realizar la evaluación conjunta de la producción de lixiviados y biogás en vertederos de RSU, además, cuenta con la posibilidad de analizar el comportamiento del vertedero como biorreactor [10], [11].

El modelo BIOLEACH se ha concebido desde su origen para ser una herramienta de apoyo a la gestión del vertedero, puede ser utilizada por los operadores de estos. Este modelo se fundamenta en la ecuación de balance hídrico como objeto fundamental para el cálculo de los lixiviados [11], al utilizar esta formulación, el modelo trata de evitar el uso de parámetros que muchas veces resultan complejos de obtener (tasa de generación de metano, contenido de metano, potencial de generación de metano...).

En definitiva, se adapta la ecuación de balance hídrico para la obtención de la cantidad de lixiviados a partir de todas las componentes hidrológicas externas e internas debidas a la composición del residuo depositado, incluso las recirculaciones de lixiviados también se tienen en cuenta.

La generación tanto de lixiviados como la producción de biogás son considerados como dos procesos acoplados dependientes el uno del otro. Los cálculos de generación de biogás se realizan a la vez que los cálculos de producción de lixiviados considerando las condiciones fisicoquímicas realmente existentes en el interior de la masa de residuos [11].

El modelo utiliza como variable principal el contenido de humedad existente en los residuos, obteniendo a partir de él los volúmenes mensuales de biogás y lixiviado, ajustando convenientemente la reacción estequiométrica que describe el proceso de degradación de la materia orgánica contenida en los residuos.

El modelo BIOLEACH sirve como herramienta de gestión de vertederos así como soporte de apoyo a la toma de decisiones de gestión diaria, el modelo debe ser capaz de responder a una serie de cuestiones como cuál es la producción de lixiviados cada mes [11], cuál es la producción real de biogás y otras cuestiones derivadas de estas, por lo tanto en el presente análisis de la producción de biogás en los vertederos de RSU, se va a emplear BIOLEACH como modelo numérico para comparar las producciones de biogás publicadas en los registros con los datos obtenidos con la modelación numérica de LandGEM.

4.2. Descripción modelo conceptual

El esquema conceptual de funcionamiento del modelo BIOLEACH se puede resumir en el siguiente esquema, donde los recuadros en color blanco son los datos que introduce el usuario al modelo (características del RSU, cantidad de RSU en vertedero y datos climatológicos), BIOLEACH calcula y obtiene los resultados de producción de biogás y producción de lixiviados de forma conjunta.

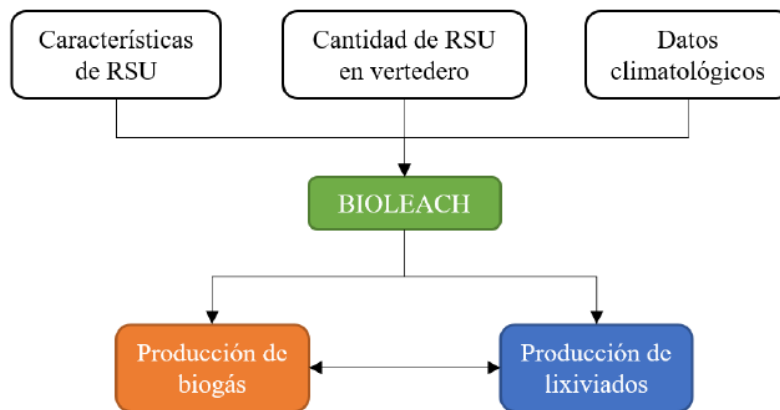


Figura 11. Funcionamiento modelo BIOLEACH. Fuente: [11]

4.3. Descripción del modelo numérico – Módulo nº1

BIOLEACH se encuentra programado en una hoja de Excel – Visual Basic en la que se componen de tres módulos independientes, el módulo que interesa en el presente análisis es el Módulo nº1 - Módulo de cálculo de la producción de biogás.

Para ejecutar el Módulo de cálculo de biogás, es necesario introducir los siguientes datos:

- Valores del ensayo de caracterización de los RSU.
- Resultados del ensayo de caracterización de las facciones RRB y RLB.

- Cantidad de RSU depositados anualmente en el vaso de vertido.

El ensayo de caracterización de las distintas fracciones de RSU, se debe introducir asumiendo que la muestra total pesa 100kg, es decir, si la muestra pesa más, se realiza la conversión de cada peso de cada componente a un peso total de la muestra de 100kg. El modelo considera los siguientes componentes de RRB, RLB, RNB:

- Residuos rápidamente biodegradables (RRB):
 - Restos de comida
 - Papel y cartón
 - 60% Residuos de jardín
- Residuos lentamente biodegradables (RLB):
 - 40% Residuos jardín
 - Madera
 - Textiles
 - Goma
 - Cuero
- Residuos no biodegradables (RNB):
 - Plásticos
 - Vidrio
 - Metales férricos
 - Metales no férricos
 - Otros

Una vez introducido el análisis de caracterización de los RSU, ahora es momento de introducir al modelo el análisis químico elemental de la fracción orgánica de los residuos. El modelo considera las cantidades de carbono, nitrógeno, azufre, oxígeno, hidrógeno y cenizas de cada uno de los componentes de la fracción biodegradable.

Además, el modelo tiene incorporada la ecuación estequiométrica y tiene programado de forma automática el ajuste de los coeficientes, una vez realizado el ajuste, se obtiene el volumen de biogás (CH_4 y CO_2) producido por cada kg de RRB y RLB en (m^3/kg). Con esto se calculan los diagramas triangulares de la producción de biogás.

En el apartado 8 se van a realizar las simulaciones para cada uno de los vertederos objeto de estudio, ahí se podrá entender claramente lo expuesto en el presente apartado.

5. PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN LOS VERTEDEROS DE RSU DE LA COMUNITAT VALENCIANA

En el presente apartado se va a realizar una recopilación de la información pública sobre emisiones de gases y cantidades de residuos de los vertederos de residuos sólidos urbanos de la Comunitat Valenciana.

En primer lugar, se va a realizar una pequeña introducción de los vertederos de RSU, localización, entidad que lo gestiona, municipio y dirección.

En segundo lugar, se realiza el análisis de los datos publicados en el Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes y de las Memorias Anuales de los residuos destinados a vertedero del MITECO.

Una vez sintetizada toda esta información, en el apartado 5.2.3 se ha calculado el índice de producción unitaria de metano y dióxido de carbono como el cociente entre los kg de cada gas (CH_4 y CO_2) y las toneladas de rechazo destinado a vertedero. Este indicador es de esperar que para los vertederos de la Comunitat Valenciana sean muy similar, esto es debido a que se supone que los RSU tienen una composición muy similar a lo largo del territorio valenciano, pero sorprendentemente se ha comprobado que los resultados entre las producciones unitarias son muy dispares, por ese motivo se ha procedido a la realización de modelaciones numéricas propias para extraer conclusiones.

5.1. Vertederos en operación de la Comunidad Valenciana

Los vertederos de RSU que se encuentran en funcionamiento según el Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes son los que aparecen en la tabla 12.

Tabla 12. Vertederos activos en la Comunidad Valenciana. Fuente: Elaboración propia.

	Nombre	Municipio	Dirección	
Provincia de Castellón	Vertedero de Onda	PLANTA DE RECICLAJE DE R.S.U. Y VERTEDERO CONTROLADO EN ONDA	Onda	PTDA PARTIDA REGALL DE L'AVELLAR
	Vertedero de Cervera del Maestre	VERTEDERO DE RECHAZOS PLAN ZONAL 1	Cervera del Maestre	PARAJ POU DE LA FIGUERA
Provincia de Valencia	Vertedero de Dos Aguas	VERTEDERO DE RESIDUOS NO PELIGROSOS (INSTALACIÓN 2)	Dos Aguas	PTDA PARTIDA LA MATRONA
	Vertedero de Pedralba	VERTEDERO CONTROLADO DE R.S.U. DE PEDRALBA	Pedralba	LUGAR LA SALADA
	Vertedero Caudete de las Fuentes	ECORED GESTION MEDIOAMBIENTAL, SL	Caudete de las Fuentes	CTRA PARAJE EL PUNTAL DE LA HIEDRA. CV4530 DIRECCIÓN PINO RAMUDO PK2,5
	Vertedero de Algimia de Alfara	RECICLADOS PALANCIA-BELCAIRE S. L	Algimia de Alfara	CMNO LA CAPITANA, PARTIDA DEL MURTERAL
Provincia de Alicante	Vertedero de Alicante	INGENIERIA URBANA S.A,	Alicante/Alacant	FINCA FINCA LO BOLINI
	Vertedero de Elche	PLANTA DE RECICLAJE Y COMPOSTAJE DE R.S.U. Y VERTEDERO CONTROLADO DE RECHAZOS DEL BAIX VINALOPÓ	Elche/Elx	PTDA PARTIDA DE LAS VALLONGAS
	Vertedero de Villena	VAERSA - VERTEDERO DE VILLENA	Villena	PTDA PARTIDA CABEZOS
	Vertedero de Xixona	RECICLADOS Y COMPOSTAJE PIEDRA NEGRA, S. A	Jijona/Xixona	CTRA CV-800

5.2. Análisis de datos públicos – Emisiones de gases en Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes

En cuanto al análisis de datos públicos de vertederos de RSU, se ha recurrido a fuentes de datos estatales, debido a que las fuentes de datos de la Generalitat Valenciana no poseen información detallada de las emisiones de gases de efecto invernadero ni de la cantidad de residuos destinados a los vertederos de RSU. La propia web de la Generalitat posee un enlace que redirecciona al PRTR.

El presente apartado tiene el objetivo de analizar las emisiones de los gases metano y dióxido de carbono en los vertederos de residuos sólidos urbanos en funcionamiento de la Comunidad Valenciana, para ello se ha recurrido a la fuente de información oficial del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico denominada “Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes”.

A continuación, se muestra el panel de búsqueda para explicar cómo se ha obtenido toda la información que aparecerá en el siguiente apartado. Como ejemplo, se ha escogido el vertedero de Onda (Provincia de Castellón) (figura 12).

The screenshot shows the PRTR search interface. At the top, there is a navigation bar with logos for the Spanish Government, the Ministry of Ecological Transition, and the PRTR system. Below this is a menu with options like 'Inicio', 'Información pública', 'Inventario de instalaciones', 'Descargas', 'Documentos', and 'Conozca más'. The main content area is titled 'INFORMACIÓN PÚBLICA FUENTES PUNTUALES' and contains a search form labeled 'BUSCADOR'. The search form includes a 'Texto libre' field, a 'Demarcación hidrográfica' dropdown, a 'Comunidad autónoma' dropdown, and an 'Actividades' dropdown. There are also radio button options for 'Inventario de establecimientos Industriales (PRTR-DEI)' (Todos, Complejos PRTR, Instalaciones AAI, Plantas) and 'Estado' (Todas, Instalaciones activas, Instalaciones no activas). A sidebar on the left provides information about the 'Inventario de instalaciones' and includes a photo of pigs.

Figura 12. Buscador Registro Estatal PRTR-E. Fuente: PRTR

Para empezar, aparece un cuadro de texto libre y varios desplegables, en el cuadro de texto libre introduciremos la información del nombre de la razón social de la entidad que gestiona el vertedero, esta información se encuentra en la tabla 12: “Vertederos activos en la Comunidad Valenciana”, a continuación, introducimos la demarcación y la comunidad autónoma, además filtraremos por instalaciones activas para la realización del presente análisis, de esta forma se ha realizado la búsqueda para cada uno de los vertederos activos (figura 13).

This screenshot shows the search panel with specific criteria entered. The 'Texto libre' field contains 'PLANTA DE RECICLAJE DE R.S.U. Y VERTEL'. The 'Demarcación hidrográfica' dropdown is set to 'Alicante/Alacant, Castellón/Castelló, Valencia/V.'. The 'Comunidad autónoma' dropdown is set to 'Comunidad Valenciana'. The 'Actividades' dropdown is set to '5.- Gestión de residuos y aguas residuales'. The radio button for 'Instalaciones activas' is selected. At the bottom, there are buttons for 'Buscar', 'Nueva Búsqueda', and 'Exportar'.

Figura 13. Panel búsqueda registro PRTR.

► Resultado de la búsqueda: 1 registros, según los siguientes filtros:

Texto libre : PLANTA DE RECICLAJE DE R.S.U. Y VERTEDERO CONTROLADO EN ONDA Comunidad autónoma: Comunidad Valenciana Provincia: Alicante/Alacant, Castellón/Castelló, Valencia/València Demarcación hidrográfica: todas	Actividades: 5 - Gestión de residuos y aguas residuales Categorías: 5.b.Valorización o eliminación de residuos en plantas de incineración o coíncineración de residuos, 5.c.Elminación de residuos no peligrosos (capacidad > 50 t/d), que incluyan una o más de las siguientes actividades, 5.d.Vertederos (recepción > 10 t/d o cap. > 25.000 t), excluidos los vertederos de inertes Establecimientos industriales (PRTR-DEI): todos Complejos registrados: todos Plantas: todas Estado: instalaciones activas
---	--

Código PRTR	Nombre del complejo	Dirección	Código postal	Provincia	Comunidad autónoma
705	PLANTA DE RECICLAJE DE R.S.U. Y VERTEDERO CONTROLADO EN ONDA	PARTIDA REGALL DE L'AVELLAR	12200	Castellón/Castelló	Comunidad Valenciana

Figura 14. Resultado búsqueda registro PRTR.

En la figura 15 se observa el formato de los datos que la web ofrece, pero además de ello ofrece archivos con extensión .xlsx, por lo que el siguiente paso es exportar a una hoja de cálculo Excel los datos de emisiones de metano CH₄ y dióxido de carbono CO₂ para cada uno de los vertederos.

Emisiones a la atmósfera

Contaminante	Año de referencia	Cantidad total (kg/año)	Método(M/C/E)	Ver +
Metano (CH ₄)	2013	881.247,620	C	
	2014	1.136.890,930	C	
	2015	998.333,440	C	
	2016	848.338,290	C	
	2017	818.902,260	C	
	2020	576.356,530	C	
	2021	567.688,820	C	
Monóxido de carbono (CO)	2017	11.458,080	C	
	2020	904,402	C	
	2021	2.967,711	C	
Dióxido de carbono (CO ₂)	2017	4.108.985,990	C	
	2020	1.450.998,410	C	
	2021	1.591.883,830	C	

Figura 15. Emisiones a la atmósfera registro PRTR. Fuente: PRTR.

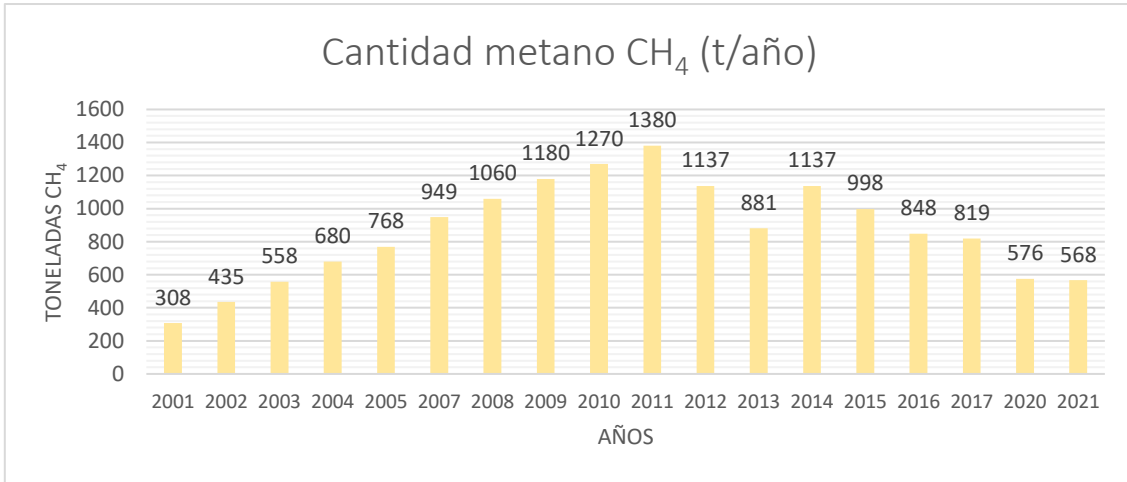
Para poder observar mejor todos estos datos, se han realizado gráficas para el CH₄ y el CO₂. En las tablas que se muestran a continuación, se indica la cantidad de gas metano y dióxido de carbono para cada año y también la información publicada sobre el método y las fuentes o referencias empleadas para las estimaciones.

5.2.1.1. Vertedero de Onda (Provincia de Castellón)

En el caso del vertedero de Onda, la información pública que se ha encontrado se muestra a continuación en la tabla 13 y la gráfica 5.

Tabla 13. Emisiones de metano del vertedero de Onda. Fuente: PRTR

Metano CH ₄			
Año	CH ₄ (kg/año)	Método	Fuentes o referencias
2001	308.183,00	-	-
2002	435.000,00	-	-
2003	558.000,00	-	-
2004	680.000,00	-	-
2005	768.000,00	-	-
2007	949.000,00	Guías IPCC, Libro Guía EMEP/CORINAIR	-
2008	1.060.000,00	Guías IPCC, Libro Guía EMEP/CORINAIR	-
2009	1.180.000,00	Guías IPCC, Libro Guía EMEP/CORINAIR	-
2010	1.270.000,00	Guías IPCC, Libro Guía EMEP/CORINAIR	-
2011	1.380.000,00	Guías IPCC, Libro Guía EMEP/CORINAIR	-
2012	1.136.890,93	C. EL vertedro que está en desgasificación pasiva se ha calculado por la metodología descrita por la IPCC " METODO DE DEGRADACIÓN DE PRIMER ORDEN". El CH ₄ de la parte en desgasificación activa se ha calculado por la metodología de la EPA (AP-42, Mayo 2009)	Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)
2013	881.247,62	EL vertedro que está en desgasificación pasiva se ha calculado por la metodología descrita por la IPCC " METODO DE DEGRADACIÓN DE PRIMER ORDEN". El CH ₄ de la parte en desgasificación activa se ha calculado por la metodología de la EPA (AP-42, Mayo 2009)	Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)
2014	1.136.890,93	EL vertedro que está en desgasificación pasiva se ha calculado por la metodología descrita por la IPCC " METODO DE DEGRADACIÓN DE PRIMER ORDEN". El CH ₄ de la parte en desgasificación activa se ha calculado por la metodología de la EPA (AP-42, Mayo 2009)	Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)
2015	998.333,44	EL vertedro que está en desgasificación pasiva se ha calculado por la metodología descrita por la IPCC " METODO DE DEGRADACIÓN DE PRIMER ORDEN". El CH ₄ de la parte en desgasificación activa se ha calculado por la metodología de la EPA (AP-42, Mayo 2009)	Uncontrolled Emission Factor Listig for Criteria Air Pollutants (EPA)
2016	848.338,29	La cantidad de metano emitida a la atmósfera se ha calculado por la metodología descrita por la IPCC como "Método de degradación de primer orden"	IPCC: Libro de Trabajo para el Inventario de Gases de Efecto Invernadero. (Directrices del IPCC para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero)
2017	818.902,26	La cantidad de metano emitida a la atmósfera se ha calculado por la metodología descrita por la IPCC como "Método de degradación de primer orden"	IPCC: Libro de Trabajo para el Inventario de Gases de Efecto Invernadero. (Directrices del IPCC para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero)
2020	576.356,53	Factores de emisión	IPCC: Libro de Trabajo para el Inventario de Gases de Efecto Invernadero. (Directrices del IPCC para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero) Otras: La cantidad anual se ha estimado a partir de la Guía 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
2021	567.688,82	Factores de emisión	IPCC: Libro de Trabajo para el Inventario de Gases de Efecto Invernadero. (Directrices del IPCC para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero) Otras: La cantidad anual se ha estimado a partir de la Guía 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

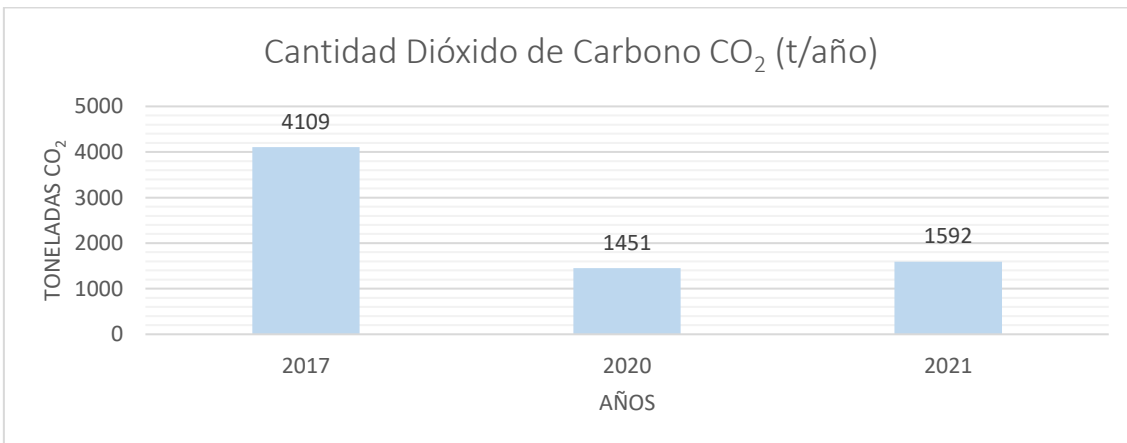


Gráfica 5. Emisiones de metano del vertedero de Onda. Fuente: PRTR

Como se puede observar en la gráfica 5, las toneladas son crecientes hasta el año 2011 y posteriormente las cantidades van decreciendo.

Dióxido de carbono (CO ₂)			
Año	CO ₂ (kg/año)	Método	Fuentes o referencias
2017	4.108.985,99	La cantidad de dióxido de carbono emitido se ha estimado como % sobre el metano emitido a la atmósfera, que se ha calculado por la metodología descrita por la IPCC como "Método de degradación de primer orden"	IPCC: Libro de Trabajo para el Inventario de Gases de Efecto Invernadero. (Directrices del IPCC para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero)
2020	1.450.998,41	Factores de emisión	IPCC: Libro de Trabajo para el Inventario de Gases de Efecto Invernadero. (Directrices del IPCC para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero) Otras: La cantidad anual se ha estimado a partir de la Guía 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
2021	1.591.883,83	Factores de emisión	IPCC: Libro de Trabajo para el Inventario de Gases de Efecto Invernadero. (Directrices del IPCC para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero) Otras: La cantidad anual se ha estimado a partir de la Guía 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

Gráfica 6. Emisiones de dióxido de carbono del vertedero de Onda. Fuente: PRTR



Gráfica 7. Emisiones de dióxido de carbono del vertedero de Onda. Fuente: PRTR

Continuando con las cantidades de dióxido de carbono, no se pueden extraer conclusiones debido a la insuficiencia de datos, pero sí que se puede ver que para el año 2017 las emisiones son del orden de 3 veces superiores a las de 2020 y 2021.

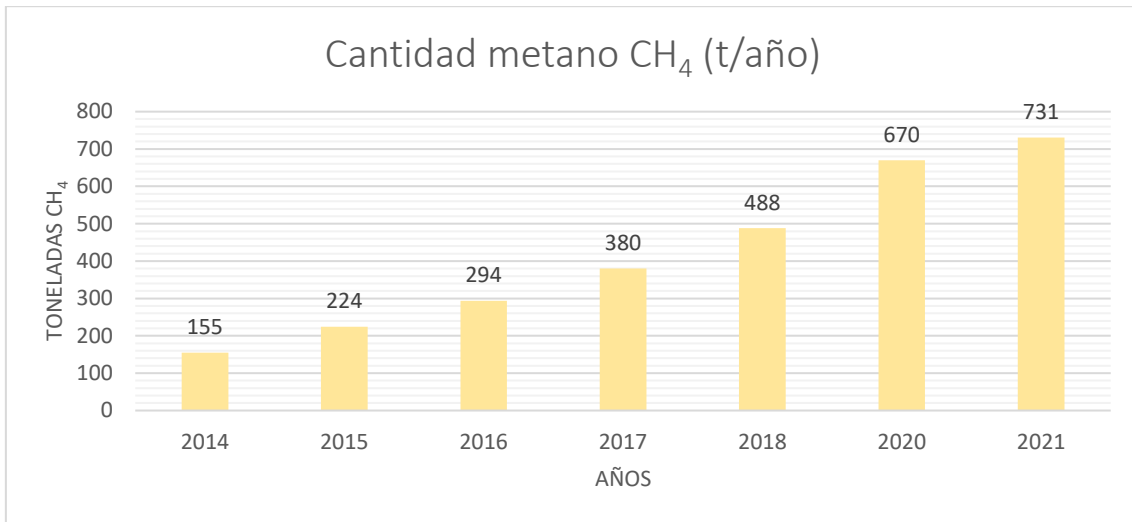
Según lo explicado en el apartado 2.3.2 sobre la composición del biogás, se hace una comparativa de las proporcionalidades de los gases que conforman el biogás, y los únicos datos de 2017, 2020 y 2021 se observa que el CO₂ es del orden del 70% y el CH₄ del orden del 20% de la composición total, esto muestra como claramente no se cumplen unas proporciones habituales en la composición de biogás 30-65% para el CH₄ y 20-45% en CO₂.

5.2.1.2. Vertedero de Cervera del Maestre (Provincia de Castellón)

En el caso del vertedero de Cervera del Maestre la información pública que se ha encontrado se muestra a continuación en la tabla 14 y la gráfica 8.

Tabla 14. Emisiones de metano del vertedero de Cervera del Maestre. Fuente: PRTR

Metano CH ₄			
Año	CH ₄ (kg/año)	Método	Fuentes o referencias
2014	154.500,00	LANDGEM LANDFILL GAS EMISSIONS MODEL - US EPA	Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)
2015	224.300,00	LANDGEM - LANDFILL GAS EMISSIONS MODEL, VERSION 3.02 (U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA)	Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)
2016	294.000,00	LANDGEM LANDFILL GAS EMISSIONS MODEL - US EPA	Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)
2017	379.600,00	LANDGEM LANDFILL GAS EMISSIONS MODEL - US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA)	Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)
2018	487.500,00	LANDGEM LANDFILL GAS EMISSIONS MODEL US-EPA	Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)
2020	669.700,00	LANDGEM LANDFILL GAS EMISSIONS MODEL US-EPA	Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)
2021	730.900,00	LANDGEM LANDFILL GAS EMISSIONS MODEL. US-EPA	Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)

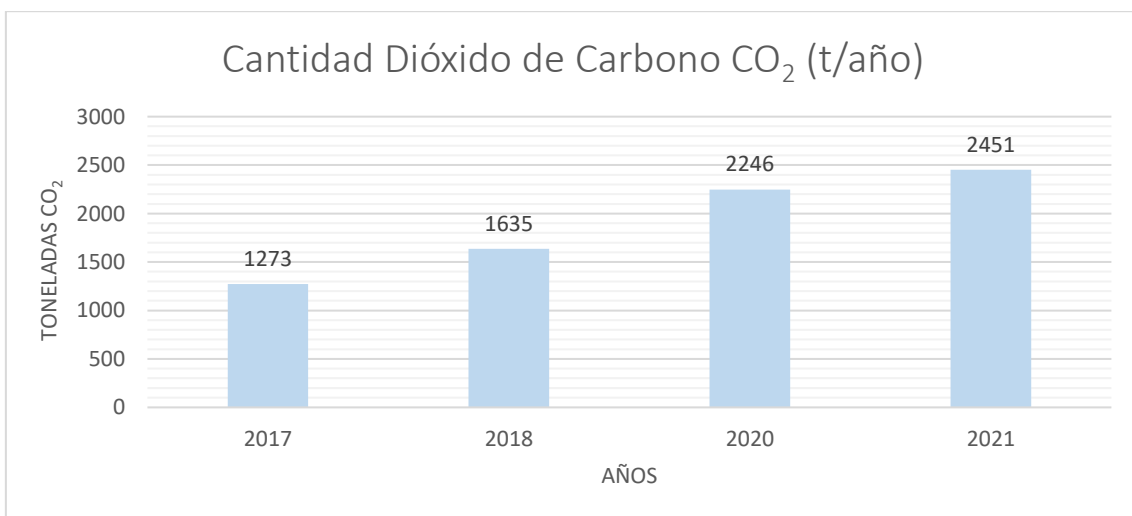


Gráfica 8. Emisiones de metano del vertedero de Cervera del Maestre. Fuente: PRTR

En el caso del vertedero de Cervera del Maestre, se obtienen datos del año 2014 al 2021, estos datos poseen una tendencia lineal de crecimiento, lo cual parece lógico y a primera vista no tiene por qué tener ningún dato erróneo.

Tabla 15. Emisiones de Dióxido de Carbono del vertedero de Cervera del Maestre. Fuente: PRTR

Dióxido de Carbono (CO ₂)			
Año	CO ₂ (kg/año)	Método	Fuentes o referencias
2017	1.273.000,00	LANDGEM LANDFILL GAS EMISSIONS MODEL - US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA)	Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)
2018	1.635.000,00	LANDGEM LANDFILL GAS EMISSIONS MODEL US-EPA	Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)
2020	2.246.000,00	LANDGEM LANDFILL GAS EMISSIONS MODEL US-EPA	Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)
2021	2.451.000,00	LANDGEM LANDFILL GAS EMISSIONS MODEL US-EPA	Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)



Gráfica 9. Emisiones de Dióxido de Carbono del vertedero de Cervera del Maestre. Fuente: PRTR

Lo mismo ocurre con el dióxido de carbono (tabla 15 y gráfica 9), se observa en los datos disponibles que existe una tendencia lineal de crecimiento desde el año 2017 a 2021.

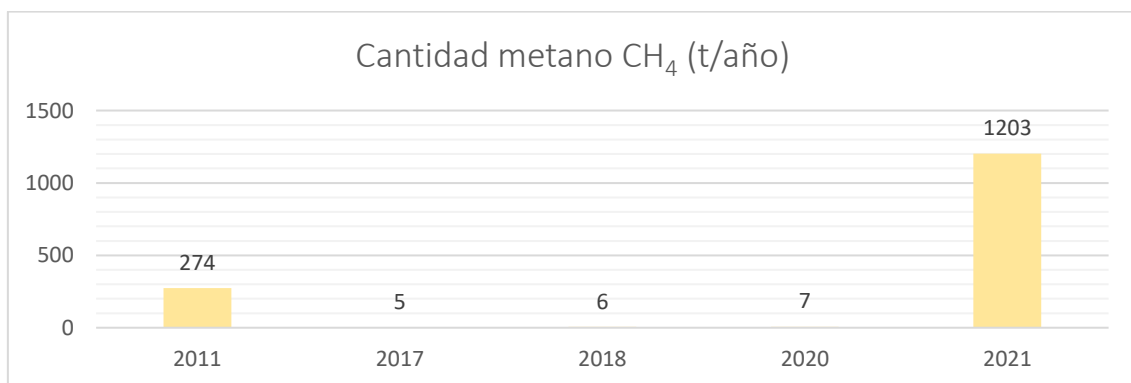
Tanto en las emisiones de metano y dióxido de carbono, se puede ver que las cantidades son crecientes con los años, característica propia de que el vertedero se encuentra en etapa de explotación. En cuanto a la proporcionalidad de la composición del biogás de vertedero, el CH₄ conforma aproximadamente un 20% mientras que el CO₂ un 75%, siendo habitual que la cantidad del CH₄ en un biogás de vertedero esté en torno a 30-65% y la cantidad de CO₂ en torno a 20-45%.

5.2.1.3. *Vertedero de Dos Aguas (Provincia de Valencia)*

En el caso del vertedero de Dos Aguas la información pública que se ha encontrado se muestra a continuación en la tabla 16 y la gráfica 10.

Tabla 16. Emisiones metano Vertedero de Dos Aguas. Fuente: PRTR

Metano CH ₄			
Año	CH ₄ (kg/año)	Método	Fuentes o referencias
2011	274.000,00	Guías IPCC, Libro Guía EMEP/CORINAIR	-
2017	5.268,59	Factores de emisión	Guía Metodológica para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones (Junta de Andalucía) Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)
2018	6.053,32	Factores de emisión	Guía Metodológica para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones (Junta de Andalucía) Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)
2020	7.420,68	Factores de emisión	Guía Metodológica para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones (Junta de Andalucía) Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)
2021	1.203.005,01	Factores de emisión	Guía Metodológica para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones (Junta de Andalucía) Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)



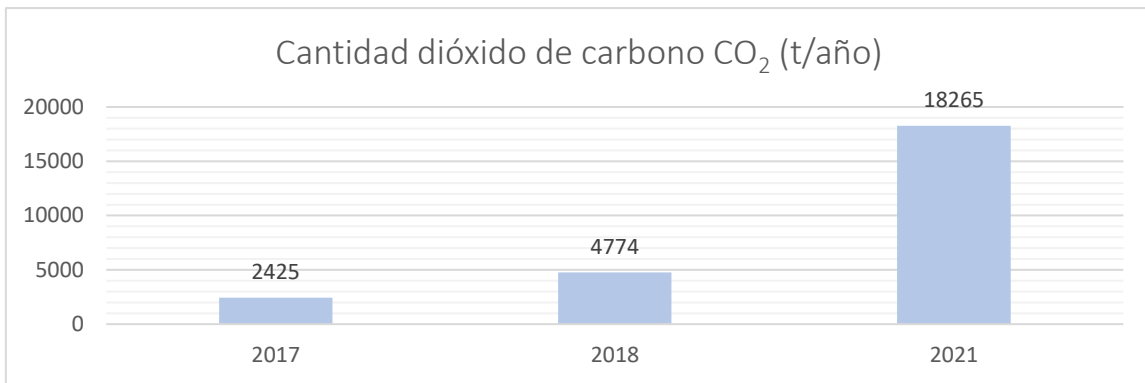
Gráfica 10. Emisiones metano Vertedero de Dos Aguas. Fuente: PRTR

La primera anomalía que se encuentra en los datos de emisiones de metano del vertedero de Dos Aguas es un posible fallo en el formato de separación entre las centenas y las decenas por puntos o comas, o

que se hayan colocado los valores en toneladas al año en vez de en kilogramos, de todas formas, no son datos que representen las emisiones reales de CH₄ de un vertedero de RSU.

Tabla 17. Emisiones dióxido de carbono Vertedero Dos Aguas. Fuente: PRTR

Dióxido de Carbono (CO ₂)			
Año	Cantidad (kg/año)	Método	Fuentes o referencias
2017	2.424.650,57	CO ₂ suma de CO ₂ combustión medido en antorcha con analizador multiparamétrico y CO ₂ de biogás calculado por factores emisión	Guía Metodológica para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones (Junta de Andalucía) Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA) Otras: PT-GC/046 Entidad de Inspección Jecma 106/ECMCA 1047/LE2052
2018	4.774.200,88	CO ₂ suma de CO ₂ combustión medido en antorcha con analizador multiparamétrico y CO ₂ de biogás calculado por factores emisión	Guía Metodológica para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones (Junta de Andalucía) Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA) Otras: Procedimiento interno PT-GC/046 Entidad de inspección Jecma 106/ECMCA 1047/LE2052
2021	18.264.909,93	Factores de emisión	Guía Metodológica para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones (Junta de Andalucía) Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)



Gráfica 11. Emisiones dióxido de carbono Vertedero Dos Aguas. Fuente: PRTR

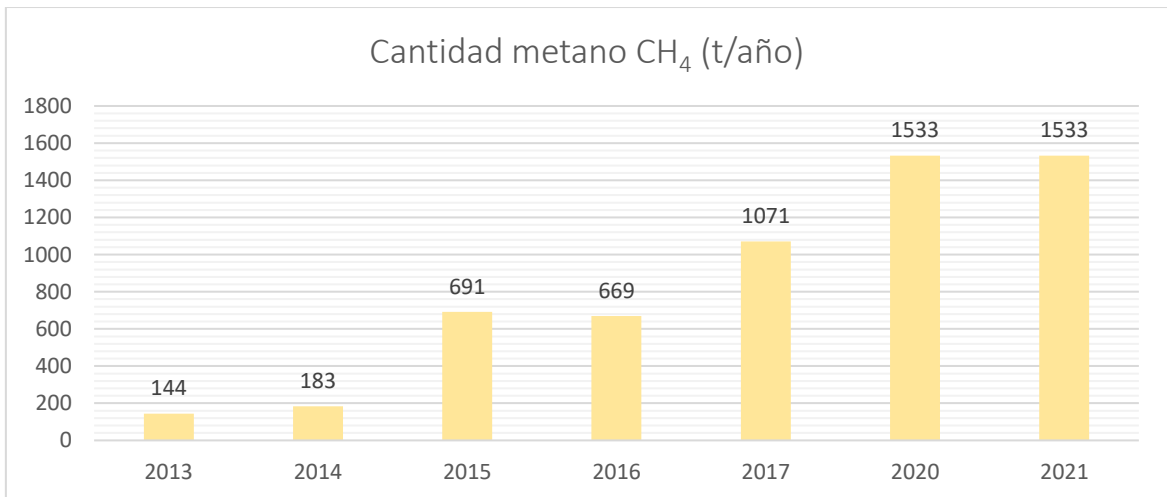
En cuando a las cantidades de dióxido de carbono (tabla 17 y gráfica 11), se observa en el año 2021 un crecimiento muy superior a los años anteriores, del orden de 4 veces más. Además, la composición de biogás no cumple para nada con un valor habitual en la proporcionalidad de un gas de vertedero habitual como se ha comprobado con los vertederos anteriores.

5.2.1.4. Vertedero de Caudete de las Fuentes (Provincia de Valencia)

En el caso del vertedero de Caudete de las Fuentes la información pública que se ha encontrado se muestra a continuación en la tabla 18 y la gráfica 12.

Tabla 18. Emisiones metano Vertedero de Caudete de las Fuentes. Fuente: PRTR

Metano CH ₄			
Año	Cantidad (kg/año)	Método	Fuentes o referencias
2013	143.696,18	Factores de emisión	Guía Metodológica para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones (Junta de Andalucía) Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)
2014	182.830,65	Estimado a partir de modelo de primer orden para RRB y RLB en función de Tn eliminadas años anteriores	-
2015	690.681,00	Estimación metano emitido de forma difusa en vertedero a partir de modelo de primer orden de generación de biogas	-
2016	668.709,00	Estimación emisión difusa vertedero según modelo de primer orden	-
2017	1.070.637,00	Emisión difusa metano vertedero estimada por modelo de primero orden, por desgasificación pasiva del vertedero en celdas en explotación	-
2020	1.533.271,88	Modelo cálculo biogás emisiones difusas vertedero menos volumen de biogas oxidado en antorcha	-
2021	1.695.131,89	Estimado por modelo teórico generación gas vertedero, restando volumen oxidado en antorcha	-

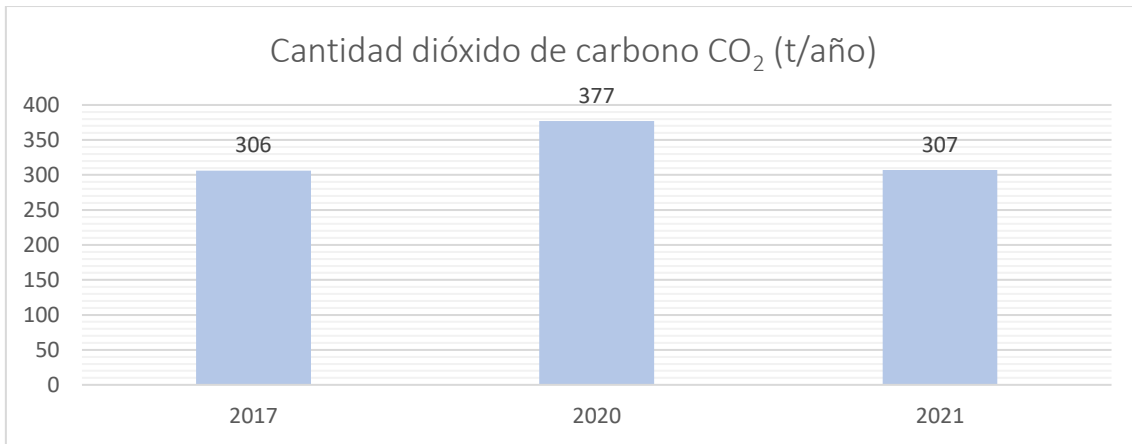


Gráfica 12. Emisiones metano Vertedero de Caudete de las Fuentes. Fuente: PRTR

En cuanto a las emisiones de metano, parece lógico el crecimiento debido a que el vertedero se encuentra en etapa de explotación.

Tabla 19. Emisiones dióxido de carbono Vertedero de Caudete de las Fuentes. Fuente: PRTR

Dióxido de carbono (CO ₂)			
Año	Cantidad (kg/año)	Método	Fuentes o referencias
2017	305.544,47	Suma CO ₂ biogás fugitivo estimado vertedero,+ CO ₂ combustión gasóleo utilizado. No incluye CO ₂ aerobio compostaje, siguiendo criterio revisión CC.AA. y guía ASEGRE	-
2020	377.005,00	PER (PER(proviene del término inglés PERmit): debe consignarse PER cuando el método de cálculo utilizado para la obtención del dato está prescrito por las autoridades competentes en la AAI, en otras autorizaciones ambientales o en las licencias o permiso de explotación de dicho complejo.)	Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes a la Atmósfera
2021	306.982,52	Hoja modelo de la Conselleria de Medio Ambiente para cálculo de emisiones por consumo de gasóleo en maquinaria móvil	Estimado por modelo teórico generación gas vertedero, restando volumen oxidado en antorcha



Gráfica 13. Emisiones dióxido de carbono Vertedero de Caudete de las Fuentes. Fuente: PRTR

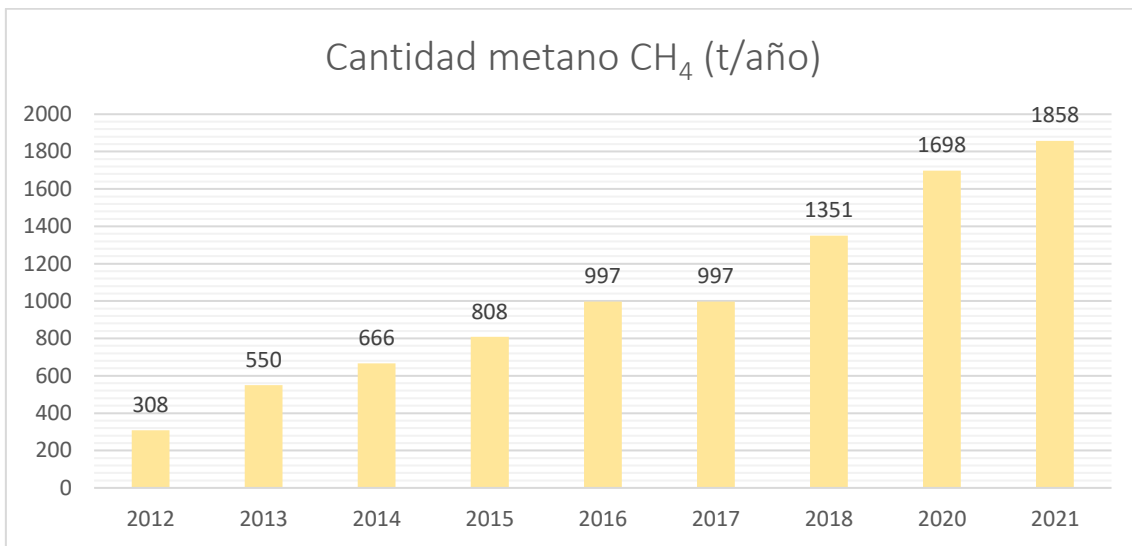
Los datos de emisiones de CO₂ son escasas (tabla 19 y gráfica 13), pero se mantienen con un valor medio de 340 t/año. En cuanto a la comprobación de una composición habitual de los gases que conforman el biogás, en este caso, los años comunes, 2017, 2020, 2021, la composición es la contraria a la de los vertederos anteriores, aproximadamente un 80% es CH₄ y un 20% es CO₂, rangos que salen por fuera de los habituales de 30-65% para el CH₄ y 20-45% para el CO₂.

5.2.1.5. Vertedero de Algimia de Alfara (Provincia de Valencia)

En el caso del vertedero de Algimia de Alfara la información pública que se ha encontrado se muestra a continuación en la tabla 20 y la gráfica 14.

Tabla 20. Emisiones metano Vertedero de Algimia de Alfara. Fuente: PRTR

Metano CH ₄			
Año	Cantidad (kg/año)	Método	Fuentes o referencias
2012	307.626,35	METODO LANDGEM 3.2V	-
2013	550.476,82	Factores de emisión	Otras: Modelo Landgem V34
2014	666.300,00	Factores de emisión	Otras: Landgem version 3.02
2015	808.100,00	Factores de emisión	Otras: LAngem
2016	996.600,00	metodología LandGEM	Otras: metodología LandGEM
2017	996.600,00	Factores de emisión	Otras: langem
2018	1.350.820,80	método landgem	-
2020	1.698.000,00	LANDGEM	-
2021	1.858.000,00	Se a utilizado la aplicación Landgem	-

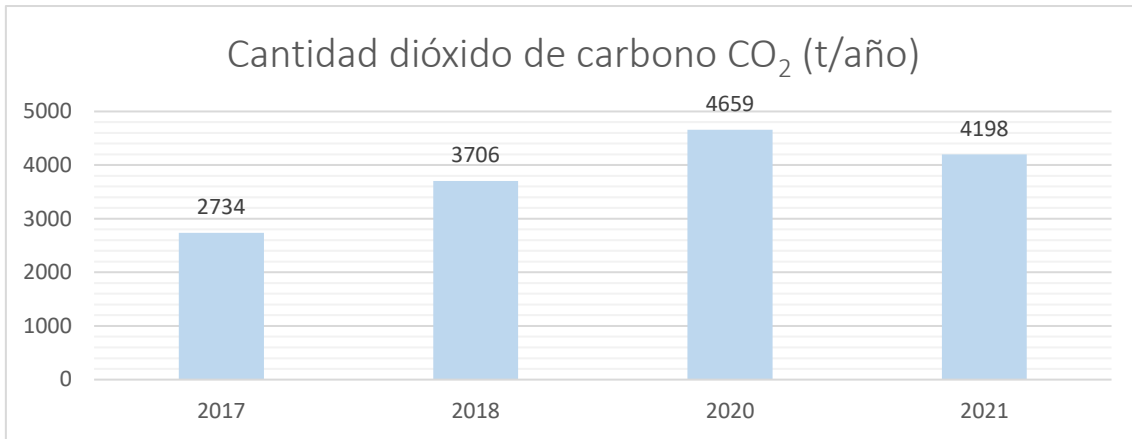


Gráfica 14. Emisiones metano Vertedero de Algimia de Alfara. Fuente: PRTR

La información de cantidades de metano parece razonable al ser creciente debido a que la instalación de eliminación de residuos se encuentra en etapa de explotación.

Tabla 21. Emisiones dióxido de carbono Vertedero de Algimia de Alfara. Fuente: PRTR

Dióxido de carbono (CO ₂)			
Año	Cantidad (kg/año)	Método	Fuentes o referencias
2017	2.734.000,00	Factores de emisión	Otras: landgem
2018	3.705.912,00	método landgem	-
2020	4.659.000,00	LANDGEM	-
2021	4.198.000,00	Se a utilizado la aplicación Landgem	-



Gráfica 15. Emisiones dióxido de carbono Vertedero de Algimia de Alfara. Fuente: PRTR

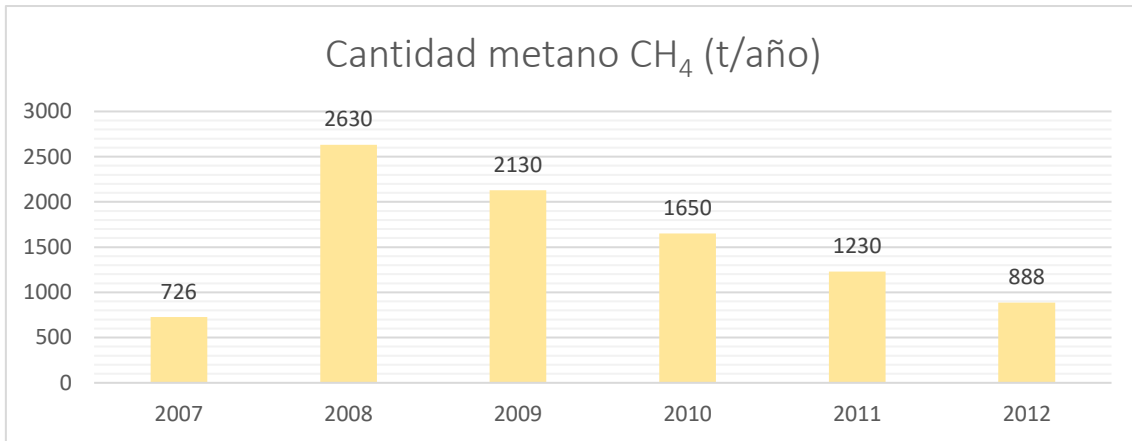
Una vez presentados los valores de metano y dióxido de carbono, se compara la composición del biogás con una composición habitual para vertederos de RSU. En el caso del vertedero de Algimia de Alfara, los valores de composición son del orden de 25% para el CH₄ y 70% para el CO₂, muy alejados de una proporcionalidad de gases de vertedero común.

5.2.1.6. Vertedero de Alicante (Provincia de Alicante)

En el caso del vertedero de Alicante la información pública que se ha encontrado se muestra a continuación en la tabla 22 y la gráfica 16.

Tabla 22. Emisiones metano Vertedero de Alicante. Fuente: PRTR

Metano CH ₄			
Año	Cantidad (kg/año)	Método	Fuentes o referencias
2007	726.000,00	Guías IPCC, Libro Guía EMEP/CORINAIR	-
2008	2.630.000,00	Guías IPCC, Libro Guía EMEP/CORINAIR	-
2009	2.130.000,00	Guías IPCC, Libro Guía EMEP/CORINAIR	-
2010	1.650.000,00	Guías IPCC, Libro Guía EMEP/CORINAIR	-
2011	1.230.000,00	Guías IPCC, Libro Guía EMEP/CORINAIR	-
2012	887.560,66	EPA	Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)



Gráfica 16. Emisiones metano Vertedero de Alicante. Fuente: PRTR

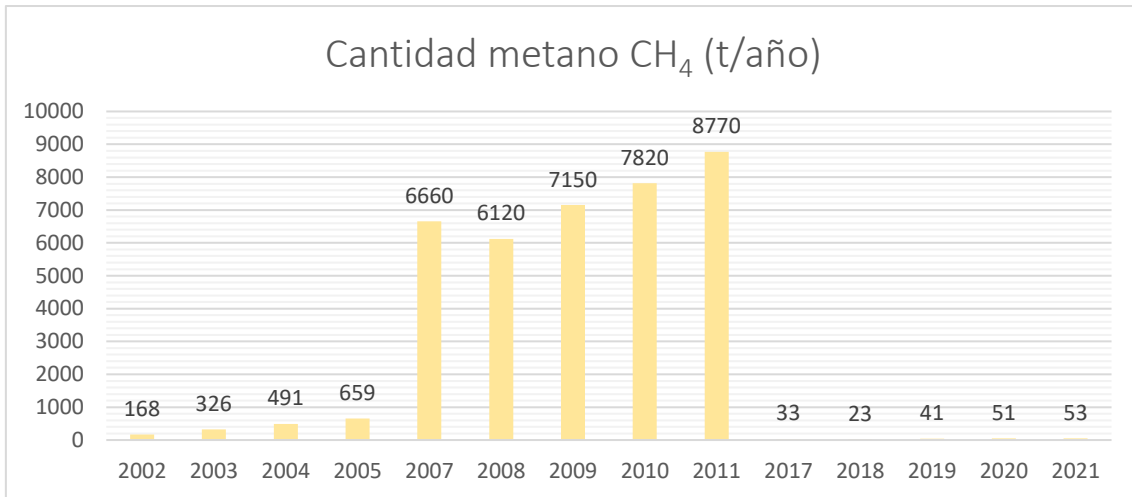
Para el vertedero de Alicante solamente se encuentra disponible información de emisiones de metano y con datos de hace más de 10 años de antigüedad. Difícilmente se pueden extraer conclusiones con estos valores.

5.2.1.7. Vertedero de Elche (Provincia de Alicante)

En el caso del vertedero de Elche la información pública que se ha encontrado se muestra a continuación en la tabla 23 y la gráfica 17.

Tabla 23. Emisiones metano Vertedero de Elche. Fuente: PRTR

Metano CH ₄			
Año	Cantidad (kg/año)	Método	Fuentes o referencias
2002	168.000,00	-	-
2003	326.000,00	-	-
2004	491.000,00	-	-
2005	659.000,00	-	-
2007	6.660.000,00	-	-
2008	6.120.000,00	Guías IPCC. Libro Guía EMEP/CORINAIR	-
2009	7.150.000,00	Guías IPCC. Libro Guía EMEP/CORINAIR	-
2010	7.820.000,00	Guías IPCC. Libro Guía EMEP/CORINAIR	-
2011	8.770.000,00	Guías IPCC. Libro Guía EMEP/CORINAIR	-
2017	33.136,07	Informe realizado por Fundacion Labein	-
2018	22.774,00	Informe realizado por Fundacion Labein	-
2019	40.928,00	Método Fundacion Labein	-
2020	50.661,82	Método de la Fundacion Labein	-
2021	53.479,35	Método Fundación Labein	-



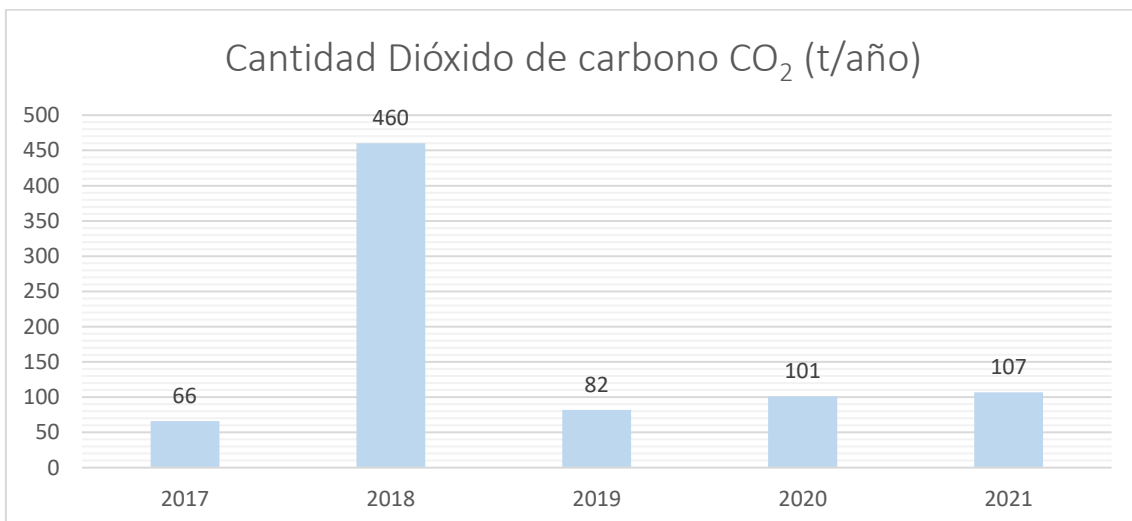
Gráfica 17. Emisiones metano Vertedero de Elche. Fuente: PRTR

Como se puede ver en la gráfica de cantidades de metano, aparecen errores aparentemente en las unidades, puede ser que los kg se hubiesen escrito como toneladas o viceversa. Con ello, es difícil establecer conclusiones con estos datos.

Tabla 24. Emisiones Dióxido de Carbono Vertedero de Elche. Fuente: PRTR

Dióxido de carbono (CO ₂)			
Año	Cantidad (kg/año)	Método	Fuentes o referencias
2017	66.272,14	Informe realizado por Fundacion Labein	-
2018	460.394,00	Metodo de la Fundacion Labein	-
2019	81.857,00	Metodo Fundacion Labein	-
2020	101.323,64	Metodo de la Fundacion Labein	-
2021	106.958,69	Método Fundación Labein	-

Ocurre algo similar para las cantidades de dióxido de carbono (tabla 24 y gráfica 18), el dato del 2018 es extremadamente superior al a los del resto de años, este fenómeno no es común en una gráfica típica de emisiones de CO₂ en un vertedero de RSU en su etapa de explotación.



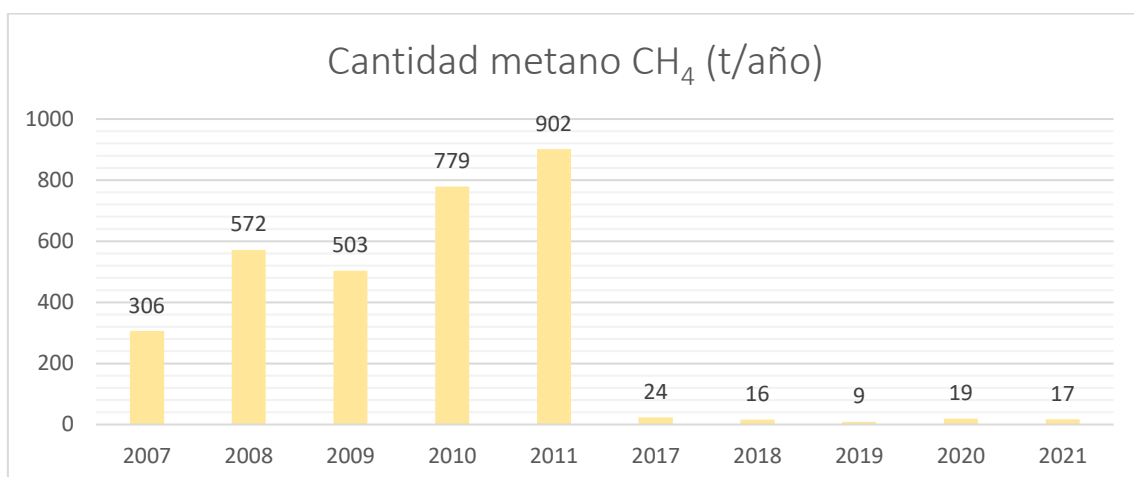
Gráfica 18. Emisiones Dióxido de Carbono Vertedero de Elche. Fuente: PRTR

5.2.1.8. Vertedero de Villena (Provincia de Alicante)

En el caso del vertedero de Villena la información pública que se ha encontrado se muestra a continuación en la tabla 25 y la gráfica 19.

Tabla 25. Emisiones Metano Vertedero de Villena. Fuente: PRTR

Metano CH ₄			
Año	Cantidad (kg/año)	Método	Fuentes o referencias
2007	306.000,00	-	-
2008	572.000,00	Guías IPCC. Libro Guía EMEP/CORINAIR	-
2009	503.000,00	Guías IPCC. Libro Guía EMEP/CORINAIR	-
2010	779.000,00	Guías IPCC. Libro Guía EMEP/CORINAIR	-
2011	902.000,00	Guías IPCC. Libro Guía EMEP/CORINAIR	-
2017	23.885,00	IHOBE	Otras: IHOBE
2018	15.520,00	IHOBE	Otras: IHOBE
2019	8.992,17	Factores de emisión	Otras: Fórmulas IHOBE Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco
2020	18.963,10	Factores de emisión	Otras: Fórmulas del IHOBE
2021	17.260,00	Factores de emisión	Fórmulas del IHOBE Sociedad pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco.

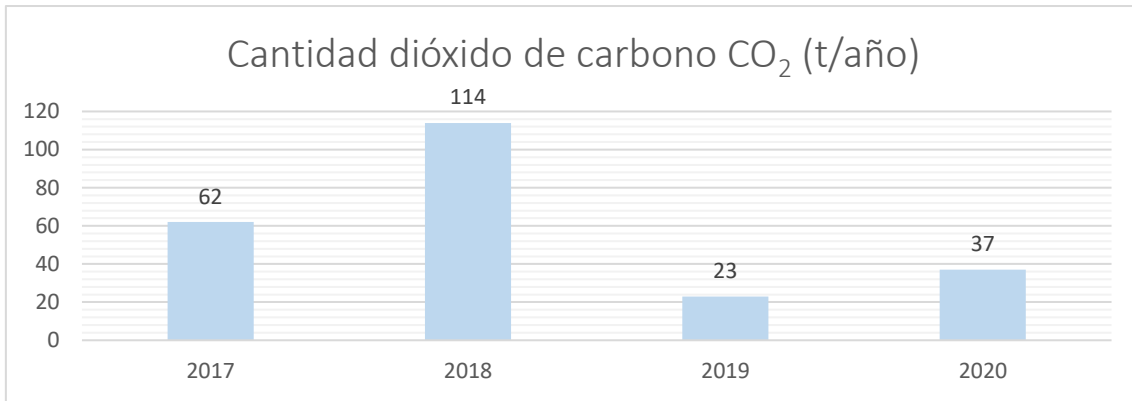


Gráfica 19. Emisiones metano Vertedero de Villena. Fuente: PRTR

Los datos publicados de cantidades de Metano, a pesar de que hay falta de datos del año 2012 al 2016, no es lógica la distribución debido a la diferencia de casi 40 veces entre los años 2011 y 2017.

Tabla 26. Emisiones dióxido de carbono Vertedero de Villena. Fuente: PRTR

Dióxido de carbono (CO ₂)			
Año	Cantidad (kg/año)	Método	Fuentes o referencias
2017	62.378,00	Factores de emisión	Otras: IHOBE
2018	113.800,54	IHOBE	Otras: IHOBE
2019	23.182,76	Factores de emisión	Otras: Fórmulas IHOBE Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco
2020	36.737,01	Factores de emisión	Otras: Fórmulas del IHOBE
2021	30.120,00	Factores de emisión	Fórmulas del IHOBE Sociedad pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco.



Gráfica 20. Emisiones dióxido de carbono Vertedero de Villena. Fuente: PRTR

De manera similar a lo que ocurre en los datos de metano, para el CO₂ no parece lógico que entre dos años en los que la operatividad del vertedero ha sido muy similar, los valores se reduzcan en 5 veces aproximadamente de un año para otro (tabla 26 y gráfica 20).

En cuanto a la proporcionalidad de CH₄ y CO₂ que conforma el biogás no cumple una proporcionalidad estándar, el CH₄ aproximadamente representa un 20% mientras que el CO₂ representa un 70%.

5.2.1.9. Vertedero de Xixona (Provincia de Alicante)

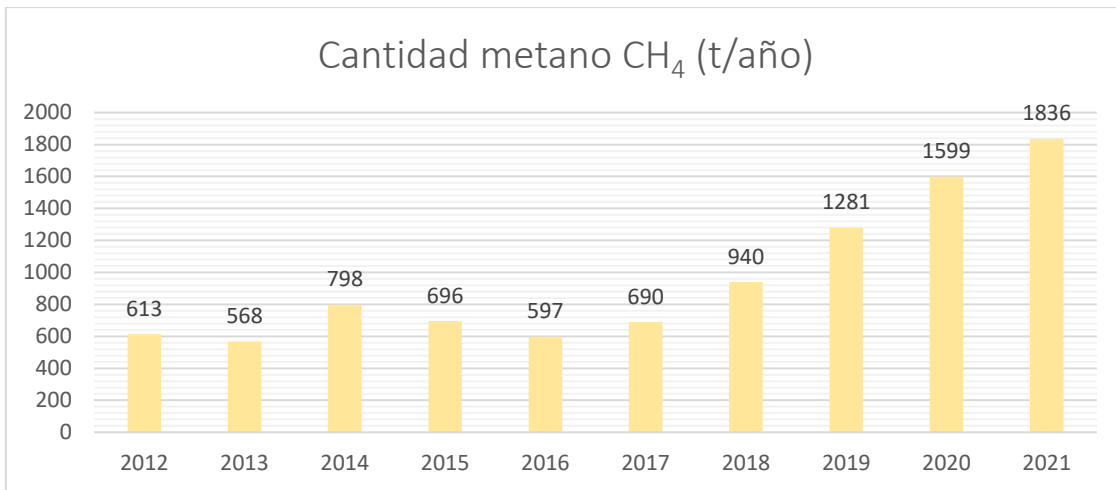
En el caso del vertedero de Xixona la información pública que se ha encontrado se muestra a continuación en la tabla 27 y la gráfica 21.

Tabla 27. Emisiones Metano Vertedero de Xixona. Fuente: PRTR

Metano CH ₄			
Año	Cantidad (kg/año)	Método	Fuentes o referencias
2012	612.587,83	Factores de emisión	Guía Metodológica para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones (Junta de Andalucía). Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)
2013	567.925,75	Factores de emisión	Guía Metodológica para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones (Junta de Andalucía). Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)
2014	797.704,05	Factores de emisión	Guía Metodológica para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones (Junta de Andalucía). Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)
2015	696.139,25	Factores de emisión	Guía Metodológica para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones (Junta de Andalucía). Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)
2016	596.615,66	Factores de emisión	Guía Metodológica para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones (Junta de Andalucía). Uncontrolled Emission Factor Listig for Criteria Air Pollutants (EPA)
2017	689.651,48	Factores de emisión	Guía Metodológica para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones (Junta de Andalucía). Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)

2018	940.185,00	Factores de emisión	Guía Metodológica para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones (Junta de Andalucía) Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)
2019	1.281.465,11	Factores de emisión	Guía Metodológica para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones (Junta de Andalucía) Factor Information Retrieral (FIRE) versión 6.23 (EPA)
2020	1.599.030,00	Factores de emisión	Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)
2021	1.835.790,00	Factores de emisión	Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)

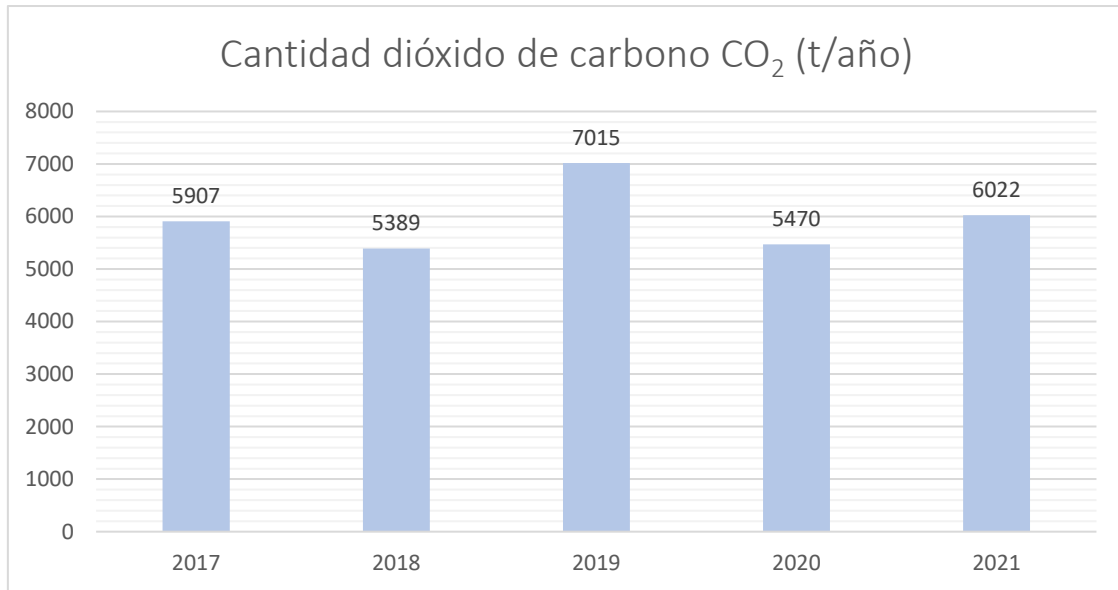
Los valores de emisiones de metano en el vertedero de Xixona no sufren ninguna interrupción desde el año 2012 al 2020, es en los cuatro últimos años donde se observa un crecimiento progresivo y lineal de las emisiones de CH₄, esto parece lógico en un vertedero el cuál se encuentra en explotación.



Gráfica 21. Emisiones metano Vertedero de Xixona. Fuente: PRTR

Tabla 28. Emisiones dióxido de carbono Vertedero de Xixona. Fuente: PRTR

Dióxido de carbono (CO ₂)			
Año	Cantidad (kg/año)	Método	Fuentes o referencias
2017	5.906.940,50	Factores de emisión	Guía Metodológica para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones (Junta de Andalucía) Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)
2018	5.389.300,77	Factores de emisión	Guía Metodológica para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones (Junta de Andalucía) Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)
2019	7.015.209,88	Factores de emisión	Guía Metodológica para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones (Junta de Andalucía) Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)
2020	5.470.269,00	Factores de emisión	Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)
2021	6.022.347,00	Factores de emisión	Compilation of Air Pollutant Emission Factors (AP 42- EPA)



Gráfica 22. Emisiones dióxido de carbono Vertedero de Xixona. Fuente: PRTR

Al igual que las cantidades de metano emitidas parecen lógicas, las cantidades de Dióxido de Carbono emitidas desde el año 2017 a 2020 también lo parecen, el principal desajuste resulta ser que la proporcionalidad en la composición de CH₄ y CO₂ del biogás resulta ser de un 10% aproximadamente para el CH₄ mientras que para el CO₂ es de 80%, mientras que una proporcionalidad lógica para un gas de vertedero es de entre un 30-65% de CH₄ y un 20-45% para el CO₂.

5.3. Indicador producción unitaria de Metano y Dióxido de Carbono

Para poder comparar la cantidad de emisiones de los distintos vertederos en relación con la composición de los residuos, se ha calculado un nuevo indicador que expresa el cociente entre la cantidad en kilogramos de metano emitido dividido entre las toneladas de rechazo, de la misma manera se ha calculado dicho indicador para el dióxido de carbono.

Los datos para el cálculo de los siguientes indicadores han sido extraídos de las memorias anuales del MITECO (Anejo nº2) y los datos de emisiones de metano y dióxido de carbono del Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (PRTR - Apartado 5.2).

Debido a la falta de datos tanto de emisiones de metano, de dióxido de carbono y las cantidades de rechazo destinadas a los vertederos, el indicador de kg de gas/t rechazo solo se ha podido calcular en algunos casos. En las posiciones de la tabla en las que aparece un (-), significa que no se ha podido calcular el indicador por no tener datos de emisiones de metano o dióxido de carbono en ese año. Por otro lado, se ha calculado el indicador desde el año 2013 a 2019 por la siempre razón de que son los años en los que se dispone de datos de cantidades de residuos destinados a vertedero.

Como se ha explicado en el apartado 2.3.2, la composición de biogás en vertederos de la Comunitat Valenciana es muy similar, por lo tanto, también lo será la composición de los residuos sólidos urbanos

que se generan a lo largo de la comunidad. Aplicando dicha suposición, los indicadores de CH₄ y CO₂ deberían ser suficientemente similares en todo el territorio objeto de estudio, pero el resultado es totalmente distinto a esta suposición.

En la tabla 29 se muestran los valores calculados de los índices de producción unitaria del metano y el dióxido de carbono para los vertederos analizados en el presente estudio, posteriormente se muestran los respectivos gráficos de dispersión tanto para el CH₄ como para el CO₂ para obtener una visión de la disparidad de los resultados obtenidos. Estos valores deberían de estar en el mismo orden de magnitud, pero no lo son.

Tabla 29. Indicador producción unitaria CH₄ y CO₂.

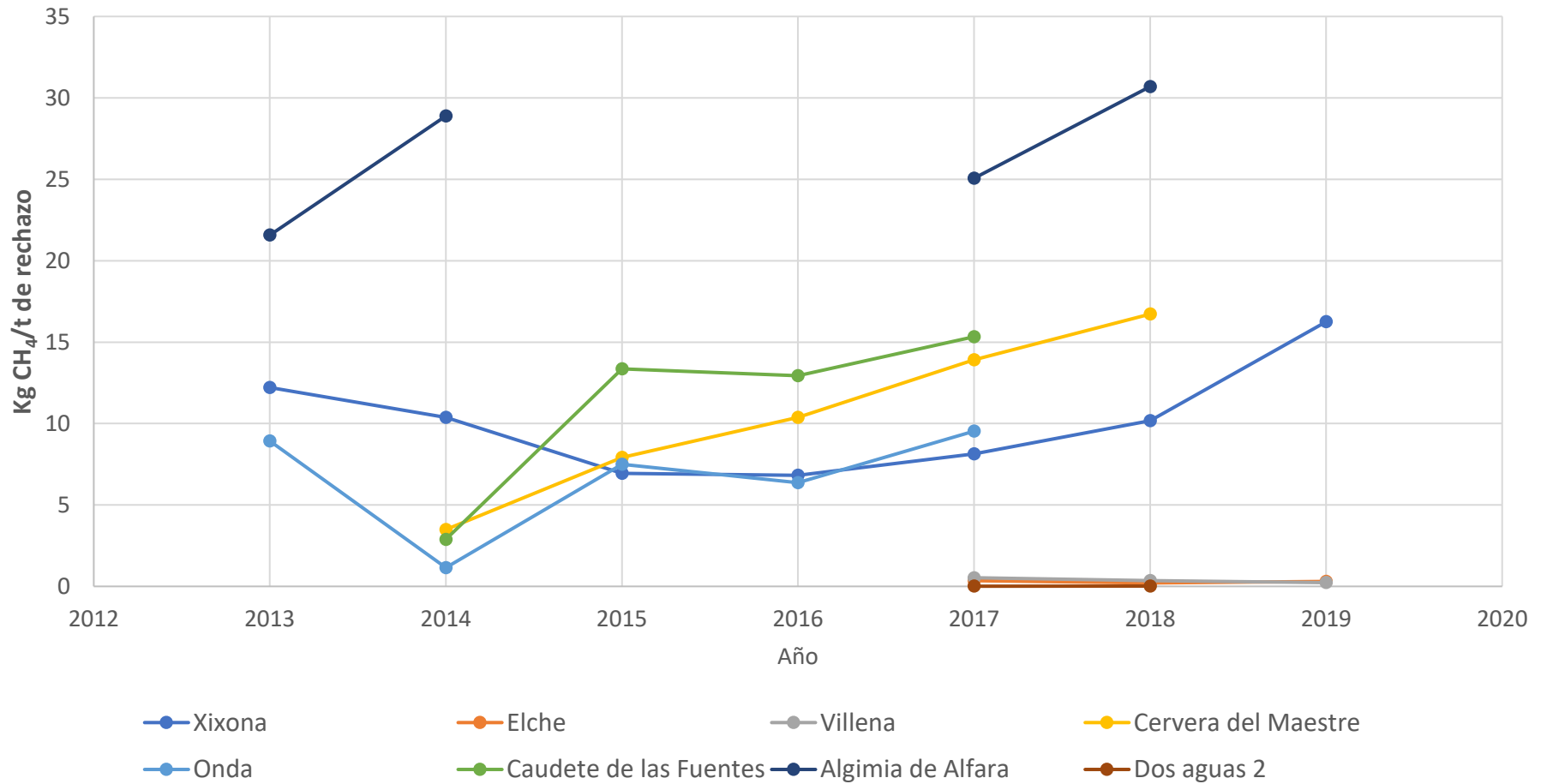
		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019	
		kg CH ₄ /t rechazo	kg CO ₂ /t rechazo	kg CH ₄ /t rechazo	kg CO ₂ /t rechazo	kg CH ₄ /t rechazo	kg CO ₂ /t rechazo	kg CH ₄ /t rechazo	kg CO ₂ /t rechazo	kg CH ₄ /t rechazo	kg CO ₂ /t rechazo	kg CH ₄ /t rechazo	kg CO ₂ /t rechazo	kg CH ₄ /t rechazo	kg CO ₂ /t rechazo
Provincia de Alicante	Xixona	12,2	-	10,38	-	6,94	-	6,82	-	8,13	69,63	10,18	58,35	16,25	88,95
	Elche	-	-	-	-	-	-	-	-	0,35	0,7	0,21	4,15	0,31	0,62
	Villena	-	-	-	-	-	-	-	-	0,53	1,39	0,35	2,59	0,23	0,58
Provincia de Castellón	Cervera del Maestre	-	-	3,49	-	7,92	-	10,38	-	13,92	46,68	16,72	56,07	-	-
	Onda	8,92	-	1,15	-	7,49	-	6,36	-	9,53	47,82	-	-	-	-
Provincia de Valencia	Caudete de las Fuentes	-	-	2,89	-	13,36	-	12,93	-	15,33	4,37	-	-	-	-
	Algimia de Alfara	21,57	-	28,89	-	-	-	-	-	25,07	68,76	30,69	84,19	-	-
	Dos aguas 2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	6,62	0,02	12,38	-	-

Una vez plasmados los indicadores “kg CH₄/t rechazo y Kg CO₂/t rechazo” en la tabla, a continuación, aparecen en forma de gráfico, el eje de abscisas representa los años desde 2013 a 2019 y en el eje de ordenadas el valor de “kg (CH₄ o CO₂)/t de rechazo”.

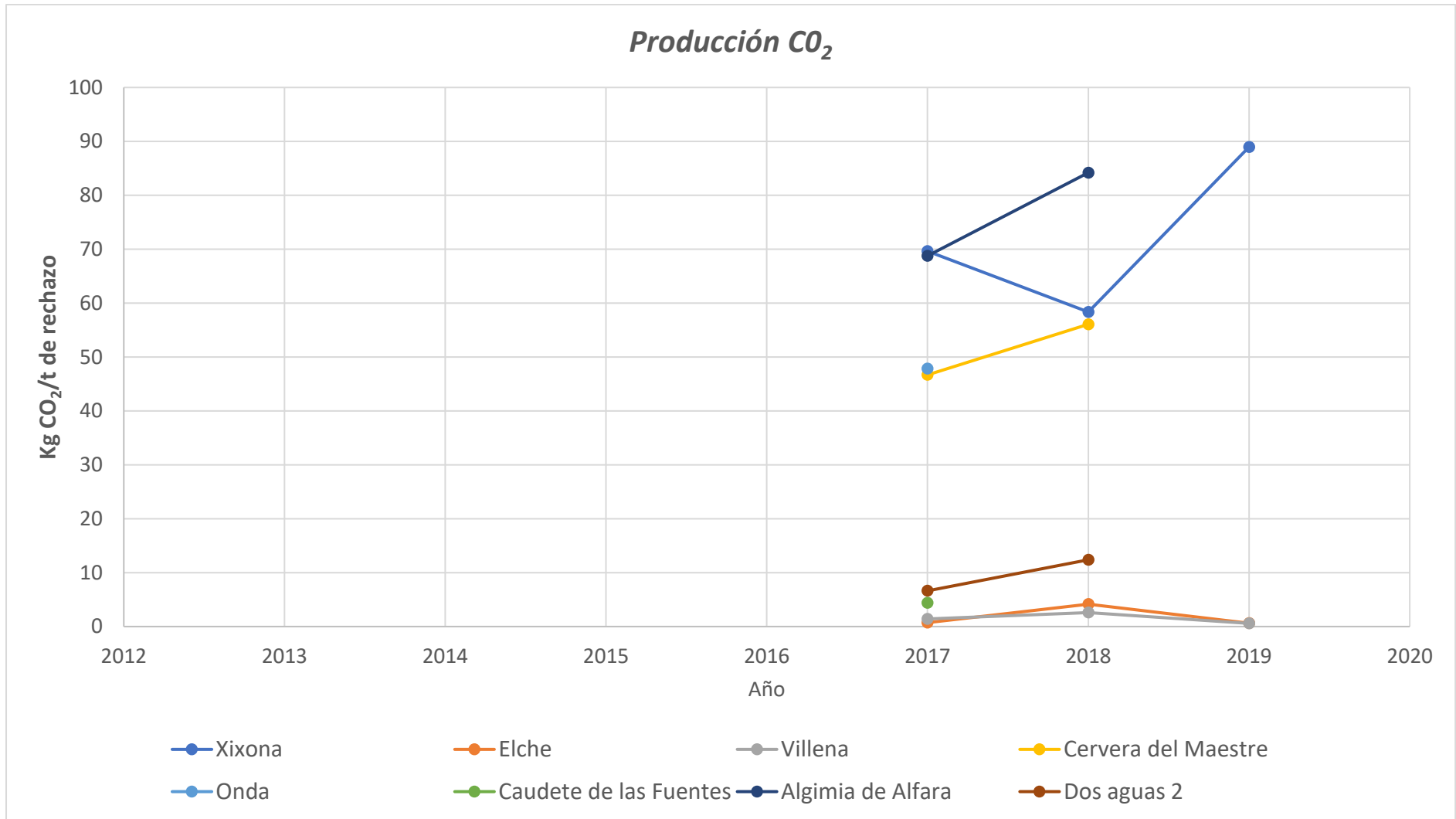
Como se ha comentado con anterioridad en los vertederos de la Comunidad Valenciana los residuos sólidos urbanos se puede suponer que son similares en cuanto a su composición, por lo que los indicadores calculados deberían dar valores semejantes, pero como se observa en el gráfico de dispersión, hay bastante disparidad entre los mismos.

Al igual que el primer indicador de metano, se ha realizado lo mismo con el dióxido de carbono, pero debido a la falta de datos de alguna de las dos fuentes de información o de ambas, solamente se tiene datos a partir del año 2017. La gráfica de la producción de dióxido de carbono es la segunda que aparece a continuación.

Producción de CH₄



Gráfica 23. Producción unitaria metano. Fuente: propia.



Gráfica 24. Producción unitaria CO₂. Fuente: propia.

El gráfico 23 corresponde a las producciones unitarias de metano, y muestra una tendencia de valores centrales y dos tendencias de valores extremos. Los valores más pequeños de producción unitaria corresponden a los vertederos de Villena, Elche y Dos Aguas mientras que los mayores valores se asocian al vertedero de Algimia de Alfara. En la tendencia central, son los vertederos de Cervera del Maestre, Caudete de las Fuentes, Xixona y Onda los que la producción unitaria está comprendida entre valores de entre 2 y 17. Por lo tanto una producción unitaria media de metano en los vertederos de la Comunitat Valenciana está en torno a 8 kg CH₄/tonelada de rechazo.

En el gráfico 24 de dispersión correspondiente al dióxido de carbono, las producciones unitarias que se han podido calcular son más escasas debido a los datos públicos disponibles, además, no se observa ninguna tendencia de valores centrales, por lo que es difícil estimar una producción unitaria media para los vertederos de la Comunitat Valenciana.

En los apartados posteriores, se van a realizar simulaciones de producción de biogás con los modelos matemáticos de LandGEM y BIOLEACH-UPV, con el objetivo de comparar los datos públicos con los simulados.

6. ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN VERTEDEROS DE RSU CON LANDGEM

En el presente apartado se aborda la parte de simulación de producción de biogás de los vertederos de RSU de la Comunitat Valenciana mediante el modelo matemático de LandGEM implementado en hoja Excel.

Según lo expuesto en el apartado de 3. Modelo LandGEM, ante la falta de conocimiento de los parámetros del modelo, se supondrán los parámetros que el software recomienda por defecto, además, en cuanto a los años de apertura y cierre de los vertederos, debido a la falta de datos de fuentes oficiales, para los vertederos en los que se desconozca el año de apertura, se modelarán 20 años es decir del año 2003 al 2023. Esta suposición se mantendrá tanto para la simulación de LandGEM como posteriormente en BIOLEACH. De todos modos, se intentará encontrar los años correspondientes a ambos eventos y se calcularán los resultados sin que el modelo calcule el año de cierre del vertedero.

Por último, la manera de introducir la cantidad de rechazos aceptados por el vertedero en cada año ha sido la siguiente. En primer lugar, se han introducido los valores que se han conseguido de las memorias anuales del MITECO, y, por otro lado, en los años en los que no se tienen valores, se ha realizado una aproximación con el promedio de los valores que se encuentran en las memorias anuales. Esto se puede ver a continuación.

En cuanto a los gases seleccionados, en las gráficas de resultados interesa que aparezca el total del biogás simulado, así como la cantidad de metano y dióxido de carbono por separado.

6.1. Vertedero de Xixona

En cuanto a los inputs empleados para la simulación de producción de biogás del vertedero de Xixona, se han empleado los que aparecen en la siguiente pantalla del programa. En primer lugar, se ha encontrado información sobre el año de apertura y cierre del vertedero, en este caso años 2003 y 2022 respectivamente. En segundo lugar, se han determinado los parámetros del modelo, como no se tiene información, se han escogido los valores de parámetro estándar que indica el manual de usuario de LandGEM. En tercer lugar, se han escogido los gases totales, el metano y el dióxido de carbono para que el modelo muestre los resultados de estos gases en las gráficas de resultados. Por último, las tasas de aceptación de residuos por cada año en el vertedero, como la mayoría se desconocen, se han realizado el promedio de los valores conocidos (año 2013 hasta 2019 – Anexo I), y este se ha aplicado a los valores desconocidos. En la figura 16 se puede observar todo lo que se acaba de explicar.

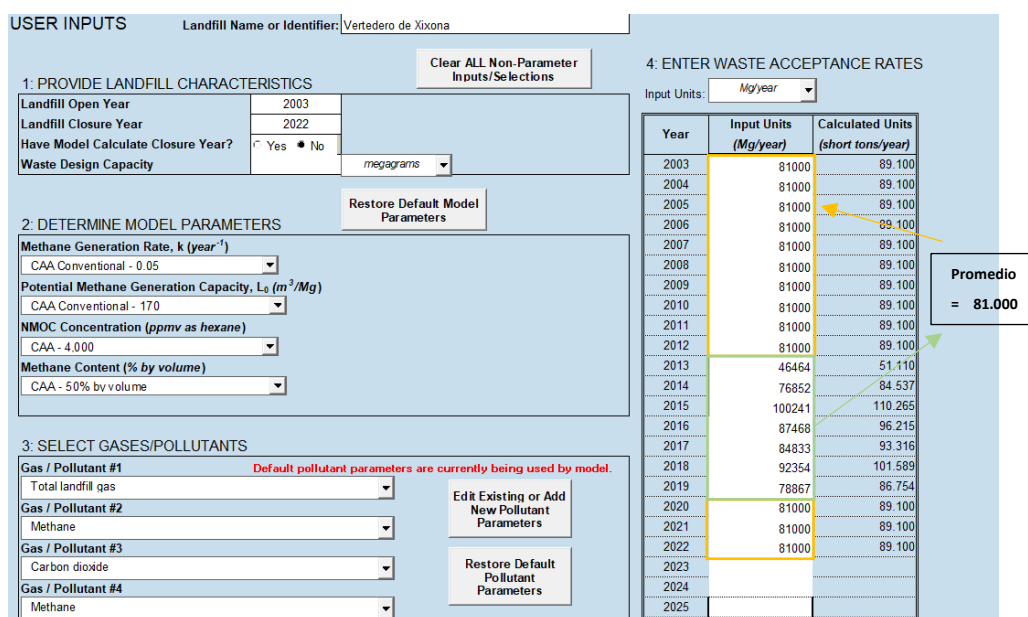
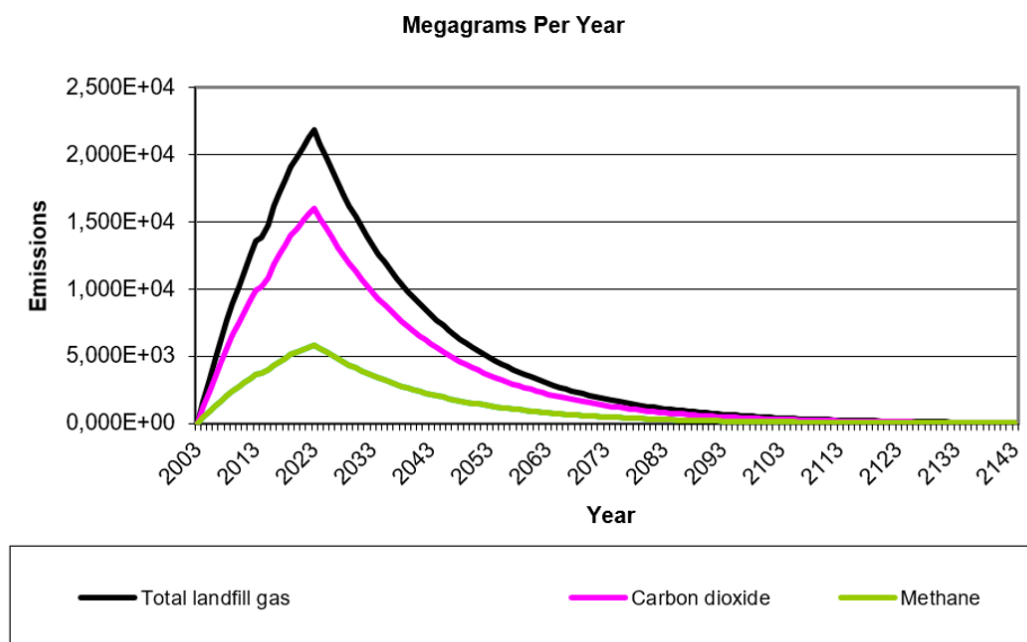


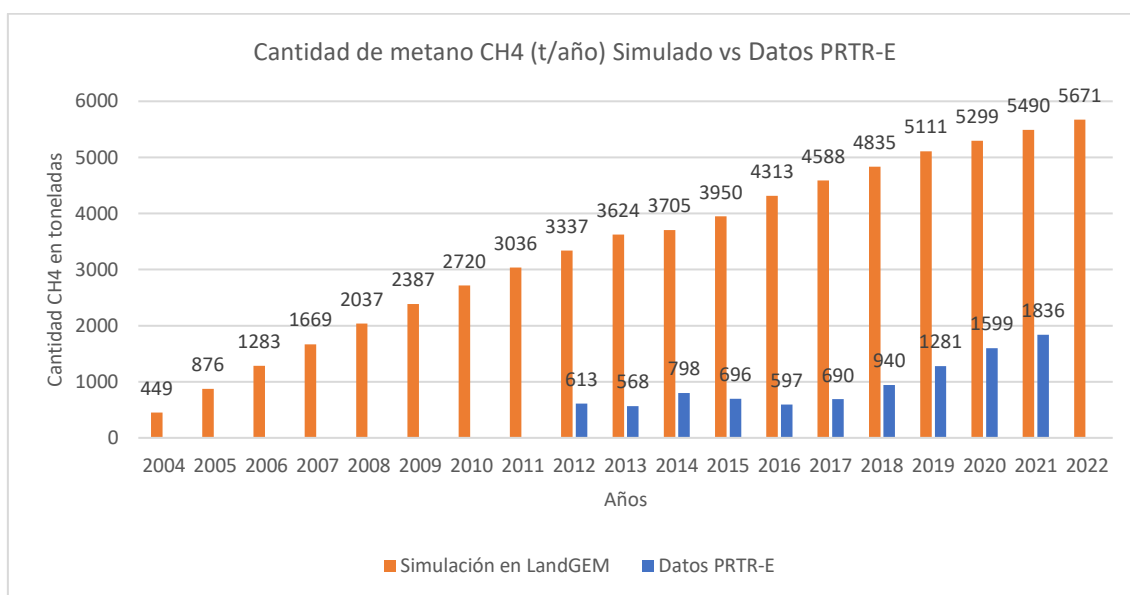
Figura 16. Inputs LandGEM Vertedero de Xixona.

Una vez lanzado el modelo, se obtienen varias gráficas de resultados, pero en el presente análisis se han escogido la de toneladas (megagrams) por año de emisión total de gases de vertedero y la emisiones de metano y dióxido de carbono por separado (gráfica 25).



Gráfica 25. Resultados LandGEM Vertedero de Xixona.

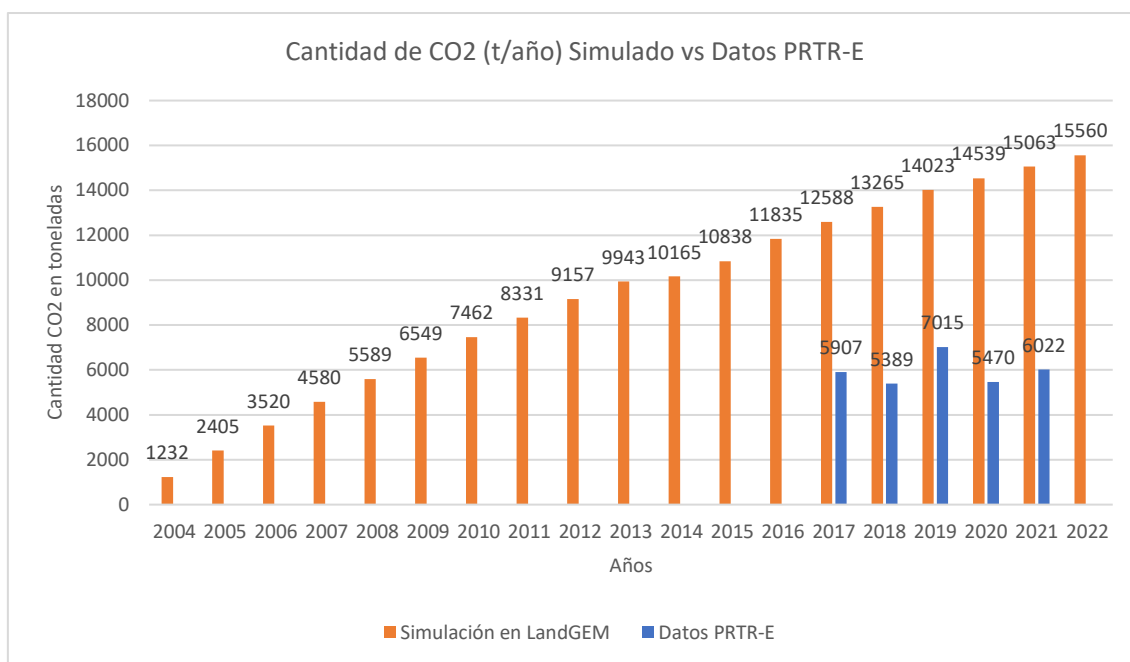
Una vez obtenida la gráfica de resultados simulados, se puede realizar una gráfica en la cual se superponen los valores simulados con los valores publicados en el registro PRTR, una vez superpuestos los valores, se obtienen la gráfica de gas metano y de dióxido de carbono por separado (gráfica 26).



Gráfica 26. Comparativa emisiones Metano de PRTR y LandGEM Vertedero de Xixona.

Una vez observada la gráfica anterior se puede ver que los valores declarados del PRTR son del orden de 5 veces inferiores que las simulaciones obtenidas en LandGEM.

Algo similar ocurre con el dióxido de carbono, además de conocer pocos datos de emisiones públicas, las emisiones simuladas en comparación con las publicadas en el PRTR son del orden de doble que la del registro estatal de emisiones.



Gráfica 27. Comparativa emisiones Dióxido de Carbono de PRTR y LandGEM Vertedero de Xixona.

Como se puede observar en la gráfica 27, las cantidades simuladas de las cantidades publicadas en los registros estatales distan mucho de encontrarse en el mismo orden de magnitud. Como era de esperar, los datos de emisiones declarados se encuentran en todo momento por bajo de los valores simulados.

6.2. Vertedero de Villena

Para la simulación de emisiones de los gases de vertedero de Villena, en primer lugar, se ha simulado 20 años de operación del vertedero es decir de 2003 a 2023 debido a que no se han encontrado datos de apertura del vertedero de fuentes oficiales. Por otro lado, las tasas de aceptación anual del vertedero de Villena se han obtenido realizando el promedio de los valores conocidos en las memorias del MITECO del año 2013 a 2019 presentes en el anejo correspondiente del presente análisis. Estos valores se observan en la siguiente captura de pantalla.

Por otro lado, como no se ha encontrado información acerca de los parámetros característicos del vertedero de Villena, se emplean los parámetros estándar que recomienda LandGEM.

Con todo ello, la pantalla de Inputs de LandGEM se muestra en la figura 17.

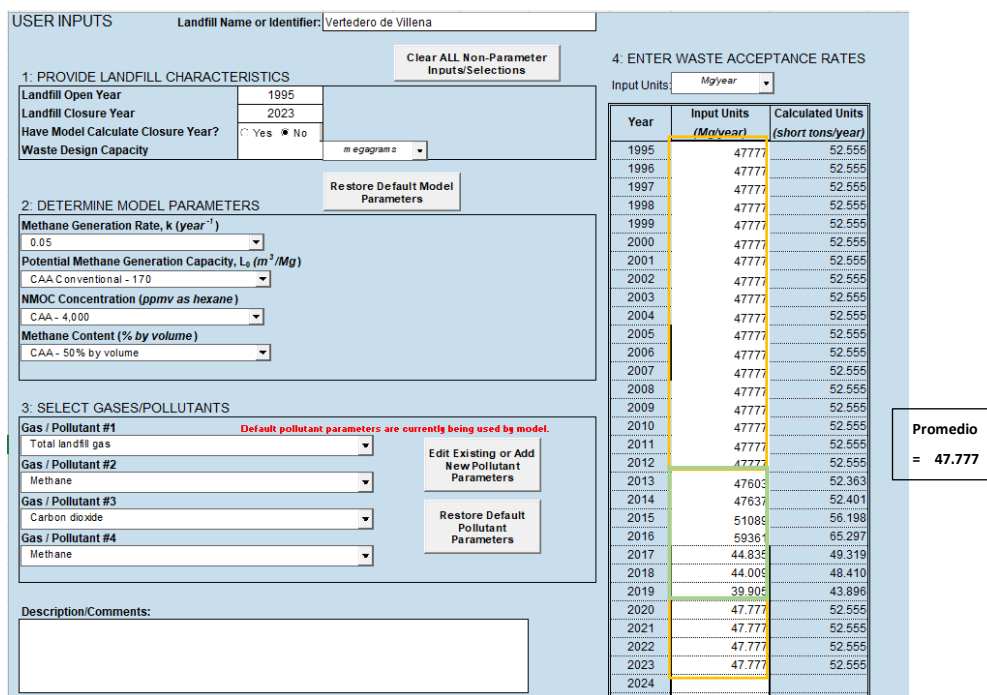
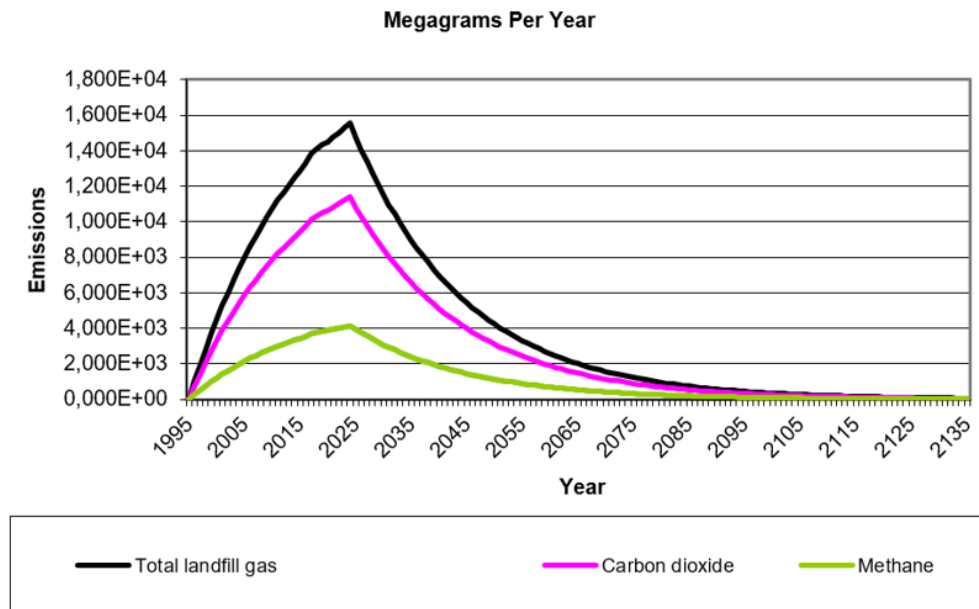


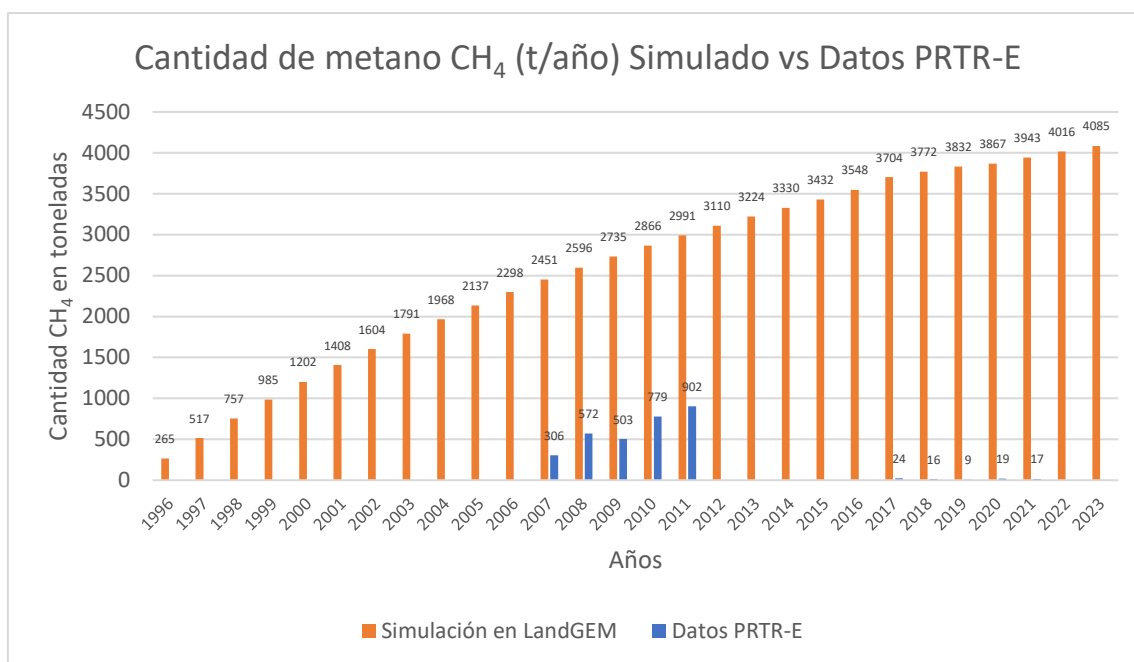
Figura 17. Inputs LandGEM Vertedero de Villena.

Una vez calculadas las cantidades de emisiones, se muestran las gráficas de producción de biogás en toneladas para cada año (gráfica 28).



Gráfica 28. Resultados LandGEM Vertedero de Villena.

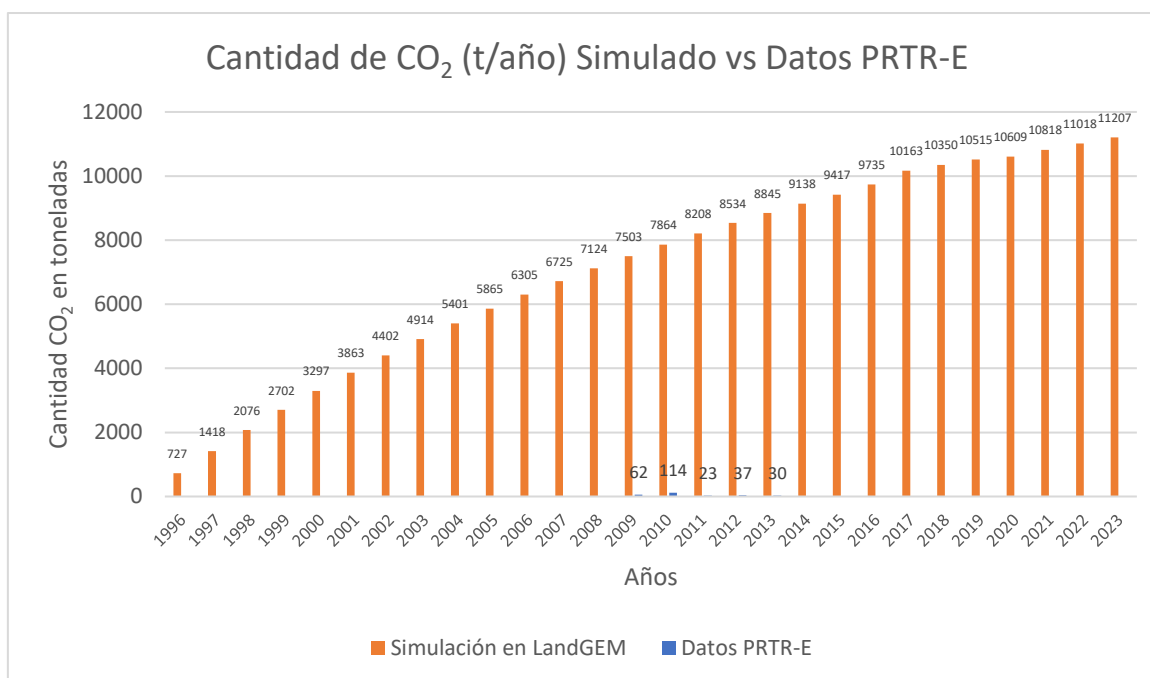
Una vez realizada la simulación, se procede a graficar los valores de emisiones que aparecen en los registros estatales del PRTR con los valores que se acaban de simular. Las gráficas que contrastan las cantidades de CH₄ y CO₂ aparecen a continuación (gráfica 29).



Gráfica 29. Comparativa emisiones Metano de PRTR y LandGEM Vertedero de Villena.

En el caso de la gráfica comparativa del metano, en los años 2007 a 2011 los valores del registro PRTR son del orden de 5 veces inferiores que los valores simulados y para los años 2017 a 2021 los valores son 175 veces menores, las estimaciones del PRTR, que se consideran que reflejan la realidad distan considerablemente de las simulaciones propias realizadas con LandGEM.

Al igual ocurre en el caso de las emisiones de dióxido de carbono, los valores del registro estatal de emisiones son del orden de 80 veces inferiores, esto como se analiza en el apartado 5.2.1.8. puede deberse a un error con las unidades (kilogramos y toneladas) o también debido a un error del símbolo decimal utilizado (gráfica 30).



Gráfica 30. Comparativa emisiones Dióxido de Carbono de PRTR y LandGEM Vertedero de Villena.

Una vez comparados los valores de CH₄ y CO₂ del PRTR con LandGEM, se observa la gran disparidad con las emisiones que se suponen que son las reales con las propiamente simuladas.

6.3. Vertedero de Onda

Según información de la institución que gestiona el vertedero de Onda, se ha encontrado información acerca del año de apertura de las instalaciones (anterior a 2003), pero a pesar de ello, se han simulado 20 años de operación, años suficientes para el objetivo del presente análisis.

Al igual que en el resto de los vertederos como no se ha encontrado información acerca de los parámetros del modelo se han empleado los estándares que recomienda LandGEM. Por último, la capacidad de aceptación anual del vertedero se ha empleado los valores recogidos en las memorias anuales del MITECO y en el resto de los años sin datos se ha empleado el valor medio de los valores anteriores. Con todo ello la pantalla de inputs para simular las producciones de biogás en el vertedero de Onda se muestran en la figura 18.

USER INPUTS Landfill Name or Identifier: Vertedero de Onda

1: PROVIDE LANDFILL CHARACTERISTICS

Landfill Open Year: 1999
 Landfill Closure Year: 2023
 Have Model Calculate Closure Year? Yes No
 Waste Design Capacity: megagrams

2: DETERMINE MODEL PARAMETERS

Methane Generation Rate, k (year^{-1}): 0.05
 Potential Methane Generation Capacity, L_0 (m^3/Mg): CAA Conventional - 170
 NMOC Concentration (ppmv as hexane): CAA - 4,000
 Methane Content (% by volume): CAA - 50% by volume

3: SELECT GASES/POLLUTANTS

Gas / Pollutant #1: Total landfill gas
 Gas / Pollutant #2: Methane
 Gas / Pollutant #3: Carbon dioxide
 Gas / Pollutant #4: Methane

4: ENTER WASTE ACCEPTANCE RATES

Input Units: Mg/year

Year	Input Units (Mg/year)	Calculated Units (short tons/year)
1999	104058	114.464
2000	104058	114.464
2001	104058	114.464
2002	104058	114.464
2003	104058	114.464
2004	104058	114.464
2005	104058	114.464
2006	104058	114.464
2007	104058	114.464
2008	104058	114.464
2009	104058	114.464
2010	104058	114.464
2011	104058	114.464
2012	104058	114.464
2013	98794	108.673
2014	98674	108.541
2015	133345	148.680
2016	133345	148.680
2017	85923	94.515
2018	85841	94.425
2019	92485	101.734
2020	104058	114.464
2021	104.058	114.464
2022	104.058	114.464
2023	104.058	114.464
2024		

Promedio = 104.058

Figura 18. Inputs LandGEM Vertedero de Onda.

Una vez realizada la simulación con todos los datos anteriores, se ha extraído la gráfica de emisiones de gases totales además de los gases metano y dióxido de carbono por separado como se muestra a continuación.

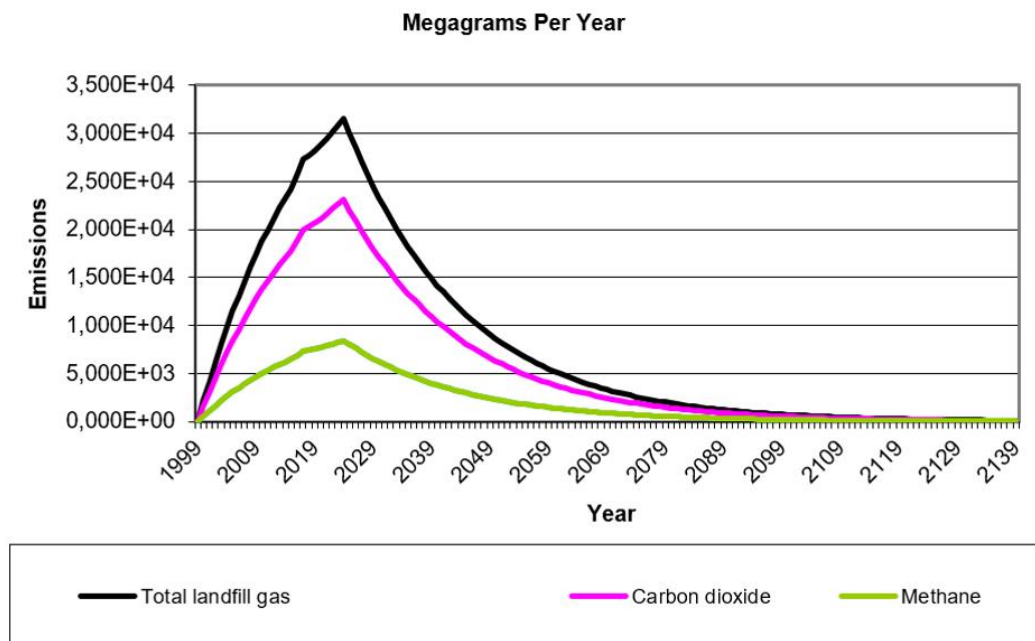
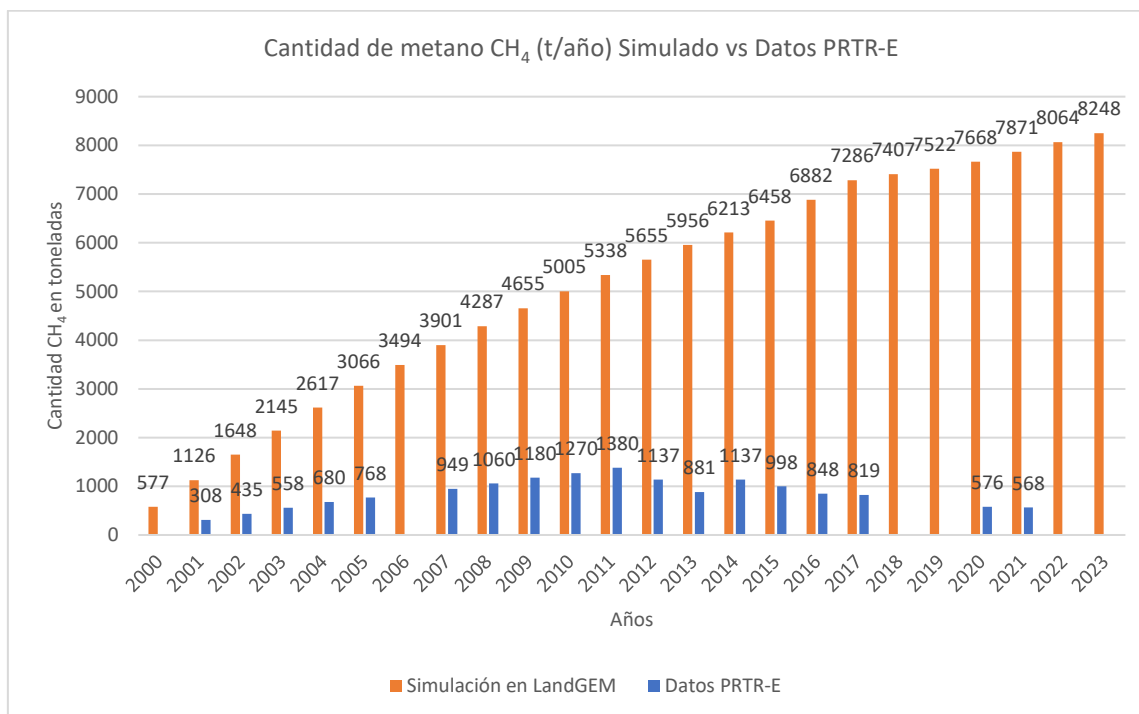


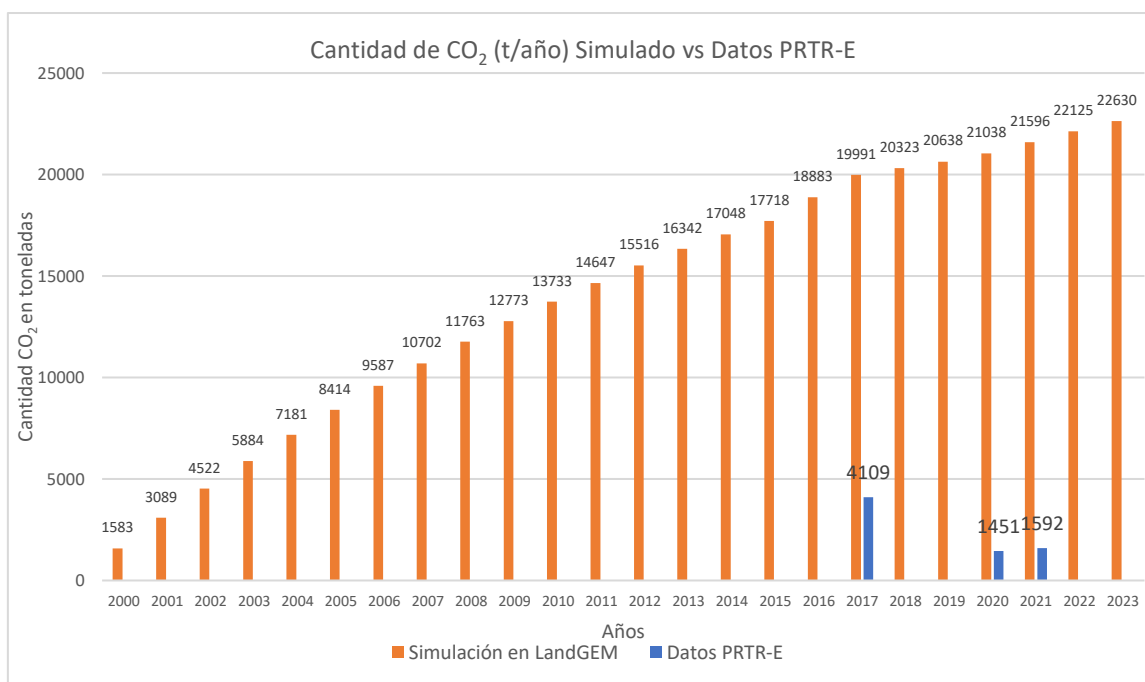
Figura 19. Resultados LandGEM Vertedero de Onda.

El siguiente paso ha sido realizar una gráfica con los valores de emisiones declarados en el PRTR y los estimados a partir del modelo matemático LandGEM, como se puede observar, la diferencia es abismal, y los resultados del registro estatal son de varios ordenes de magnitud menores que los estimados (gráfica 31).



Gráfica 31. Comparativa emisiones metano de PRTR y LandGEM Vertedero de Onda.

Se ha realizado el mismo procedimiento con las cantidades de CO₂, pero el inconveniente es que los datos del registro PRTR son tan escasos que no se pueden extraer conclusiones, aunque se intuye que ocurre lo mismo que con el Metano.



Gráfica 32. Comparativa emisiones dióxido de carbono de PRTR y LandGEM Vertedero de Onda.

En definitiva, los datos publicados en el PRTR distan mucho de las simulaciones realizadas con LandGEM, este aspecto llama la atención al tener una disparidad de valores tan grande.

6.4. Vertedero de Cervera del Maestre

En el caso del vertedero de Cervera del Maestre, se ha encontrado información sobre el año de apertura de la instalación, este año fue 2013, en concreto a finales de año, esto se puede observar en la tasa de aceptación anual que es muy pequeña en comparación con el resto de los años, por este motivo se ha simulado en este vertedero desde el año 2013 al año 2022.

En la siguiente captura de pantalla (figura 20), se observan los inputs para el cálculo, como se ha realizado en los vertederos anteriores, los parámetros escogidos son los que recomienda LandGEM como estándar, y las tasas de aceptación anual son las tomadas en la memoria del MITECO (Anejo correspondiente) de los años 2013 a 2019 y en los años restantes se ha tomado el promedio de los anteriores.

USER INPUTS Landfill Name or Identifier:

1: PROVIDE LANDFILL CHARACTERISTICS

Landfill Open Year: 2013
 Landfill Closure Year: 2022
 Have Model Calculate Closure Year? Yes No
 Waste Design Capacity:

2: DETERMINE MODEL PARAMETERS

Methane Generation Rate, k (year^{-1}):

 Potential Methane Generation Capacity, L_0 (m^3/Mg):

 NMOC Concentration (*ppmv as hexane*):

 Methane Content (% by volume):

3: SELECT GASES/POLLUTANTS

Gas / Pollutant #1: Default pollutant parameters are currently being used by model.
 Gas / Pollutant #2:
 Gas / Pollutant #3:
 Gas / Pollutant #4:

4: ENTER WASTE ACCEPTANCE RATES

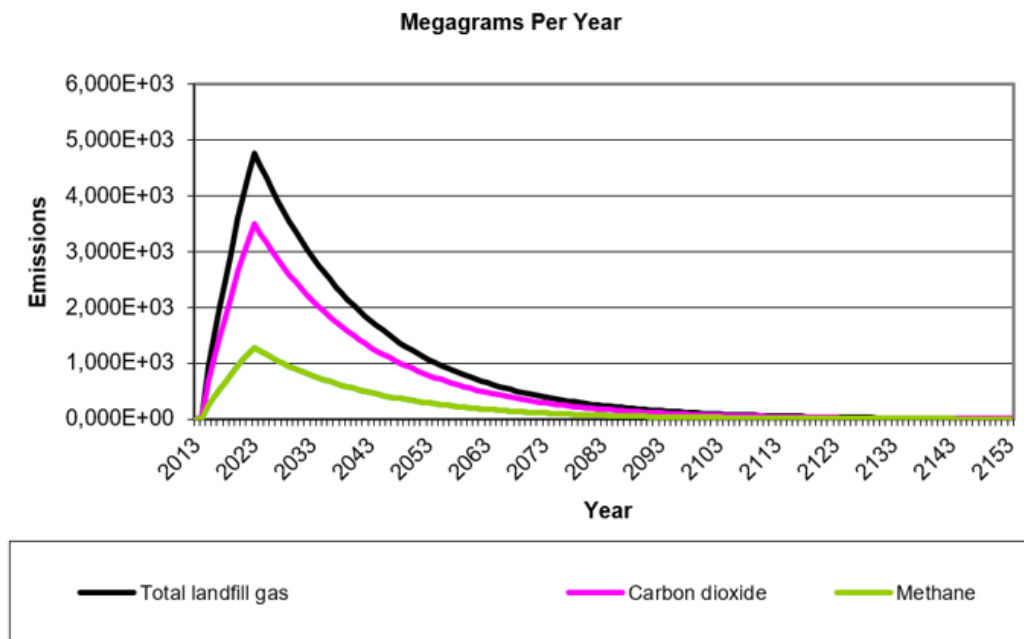
Input Units:

Year	Input Units (Mg/year)	Calculated Units (short tons/year)
2013	1747	1.922
2014	44240	48.664
2015	28323	31.155
2016	28323	31.155
2017	27271	29.998
2018	29160	32.076
2019	37813	41.594
2020	28125	30.938
2021	28125	30.938
2022	28125	30.938
2023		
2024		
2025		
2026		
2027		
2028		
2029		
2030		
2031		
2032		
2033		
2034		
2035		
2036		
2037		

Figura 20. Inputs LandGEM Vertedero de Cervera del Maestre.

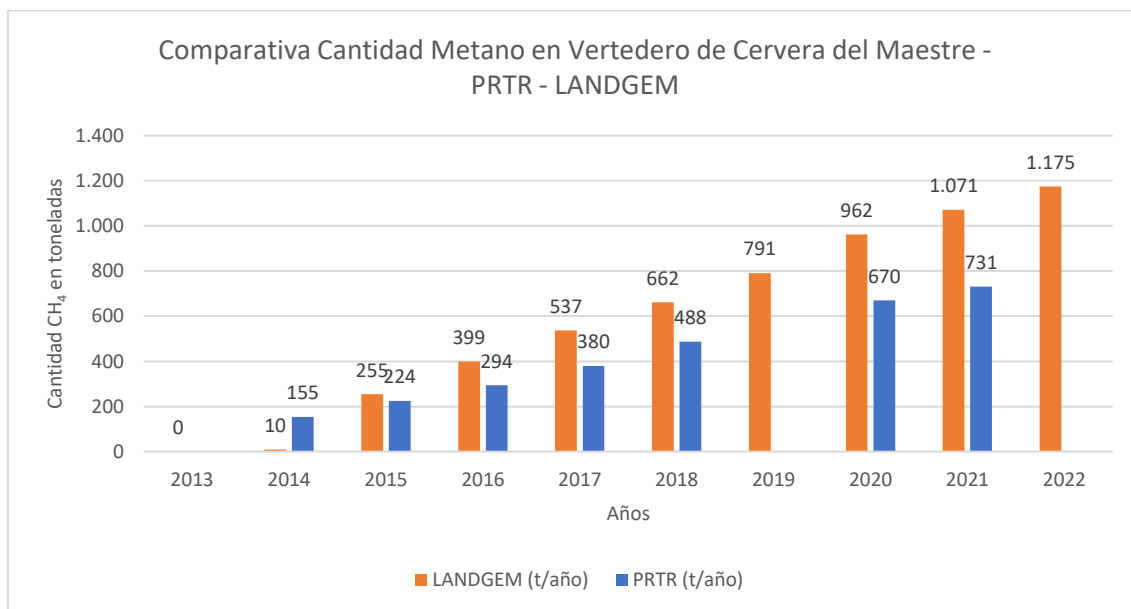
Una vez realizada la simulación con todos los datos anteriores, se ha extraído la gráfica de emisiones de gases totales además de los gases metano y dióxido de carbono por separado como se muestra a continuación.

El siguiente paso ha sido realizar la comparativa de los datos del Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes con los simulados en LandGEM. Se muestra a continuación una gráfica para el metano y otra para el dióxido de carbono (gráfica 33).



Gráfica 33. Resultados LandGEM Vertedero de Cervera del Maestre.

Una vez realizadas las gráficas comparativas en el caso del metano (gráfica 34), se observa que la tendencia tanto de la estimación con LandGEM como la de los datos del PRTR es creciente y casi paralela una de otra. Los datos extraídos del PRTR son del orden del 25% menores que los estimados, esta diferencia se va acentuando en los últimos años (2020 y 2021).

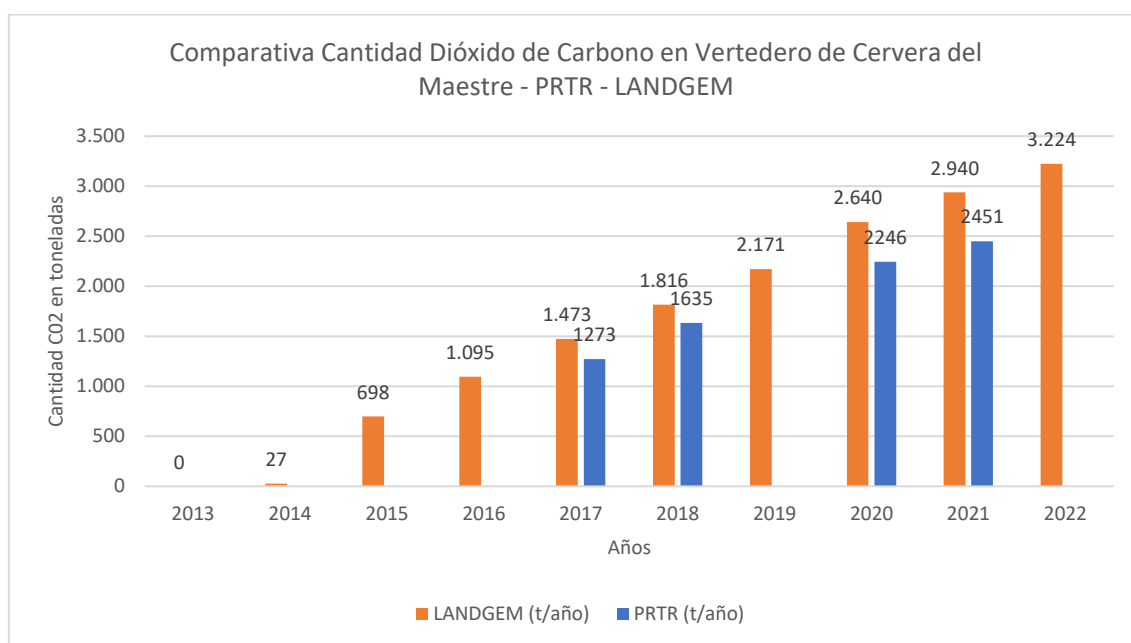


Gráfica 34. Comparativa emisiones metano de PRTR y LandGEM Vertedero de Cervera del Maestre.

La similitud de ambas cantidades de Metano es debida a que según el PRTR las estimaciones públicas también se han modelado con LandGEM. A pesar de la falta de datos que se tienen para realizar las

estimaciones propias, se puede intuir que los datos que se han utilizado para las estimaciones del PRTR en LandGEM no distan demasiado de las aproximaciones de los parámetros estándar y de las aportaciones anuales de rechazos a vertederos que se han tomado en el presente análisis.

Para el caso del dióxido de carbono al igual que para el metano, al modelarse ambas cantidades de CO₂ con el modelo matemático LandGEM, los datos estimados y los publicados en el PRTR tienen una misma tendencia de crecimiento y un mismo orden de magnitud, la diferencia entre ambos datos es menos significativa que en el caso del CH₄. Las diferencias tienen que ver con los parámetros escogidos en el modelo y con la cantidad de aportaciones anuales de rechazos a los vertederos (gráfica 35).



Gráfica 35. Comparativa emisiones dióxido de carbono de PRTR y LandGEM Vertedero de Cervera del Maestro.

En conclusión, el Vertedero de Cervera del Maestro no presenta grandes diferencias entre el PRTR y LandGEM, esto es debido a que se han modelado con el mismo software. Las diferencias se deben a los inputs de entrada del modelo matemático, (parámetros y aportaciones de rechazos a los vertederos). Las tendencias tanto para el CH₄ como para el CO₂ de LandGEM son crecientes de forma lineal y paralela a los valores publicados en el PRTR, las diferencias del Metano entre LandGEM y PRTR son del orden del 25% y para el Dióxido de Carbono se reducen al 15%.

6.5. Vertedero de Dos Aguas

En el caso del vertedero de Dos Aguas, se conoce el año de apertura que fue en 1998, pero para el presente análisis es suficiente con la modelación de emisiones de biogás desde hace 20 años, es decir desde el año 2003.

Para el caso del vertedero de Dos Aguas los inputs supuestos han sido los que se muestran en la siguiente captura de pantalla, al igual que en el resto de vertederos, se han supuesto los parámetros estándar que recomienda LandGEM. La tasa de aceptación anual del vertedero se ha introducido de la misma forma que en todos los casos de vertederos anteriores (figura 21).

USER INPUTS Landfill Name or Identifier: Vertedero de Dos Aguas

1: PROVIDE LANDFILL CHARACTERISTICS

Landfill Open Year: 2003
 Landfill Closure Year: 2022
 Have Model Calculate Closure Year? Yes No
 Waste Design Capacity: megagrams

2: DETERMINE MODEL PARAMETERS

Methane Generation Rate, k (year^{-1}): CAA Conventional - 0.05
 Potential Methane Generation Capacity, L_0 (m^3/Mg): CAA Conventional - 170
 NMOC Concentration (ppmv as hexane): CAA - 4.000
 Methane Content (% by volume): CAA - 50% by volume

3: SELECT GASES/POLLUTANTS

Gas / Pollutant #1: Total landfill gas
 Gas / Pollutant #2: Methane
 Gas / Pollutant #3: Carbon dioxide
 Gas / Pollutant #4: Methane

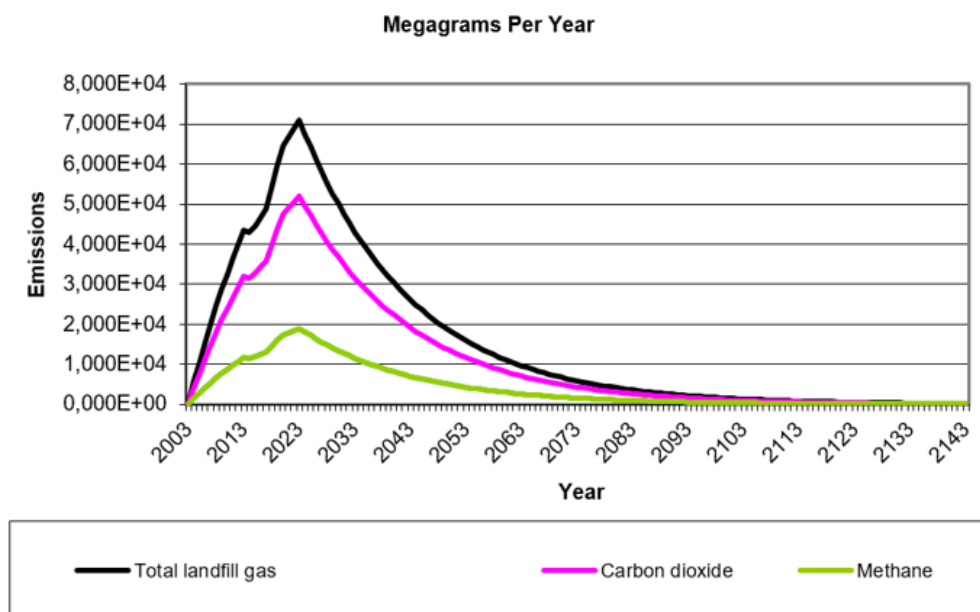
4: ENTER WASTE ACCEPTANCE RATES

Input Units: Mg/year

Year	Input Units (Mg/year)	Calculated Units (short tons/year)
2003	259596	285.555
2004	259596	285.555
2005	259596	285.555
2006	259596	285.555
2007	259596	285.555
2008	259596	285.555
2009	259596	285.555
2010	259596	285.555
2011	259596	285.555
2012	259596	285.555
2013	73683	81.051
2014	184631	203.094
2015	207669	228.436
2016	207669	228.436
2017	366001	402.601
2018	385487	424.036
2019	392030	431.233
2020	259596	285.555
2021	259596	285.555
2022	259596	285.555
2023		
2024		
2025		
2026		

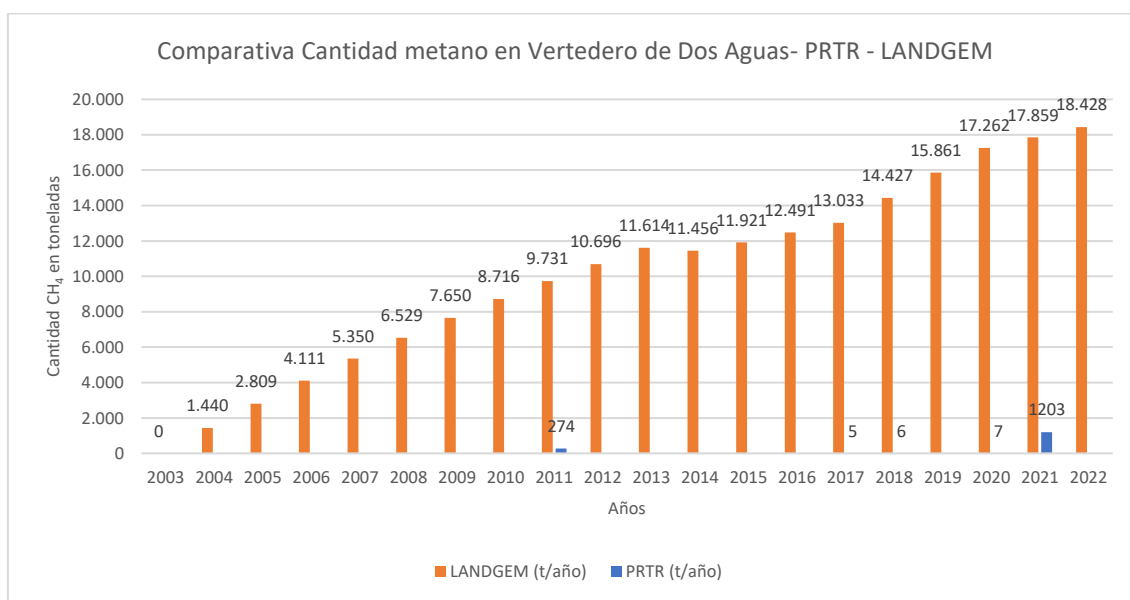
Figura 21. Inputs LandGEM Vertedero de Dos Aguas.

El resultado de emisiones totales, de metano y dióxido de carbono aparecen en la gráfica 36, para poder realizar una primera comparación de los datos obtenidos con los datos del PRTR, se han realizado las gráficas por separado tanto para el CH₄ como para el CO₂.



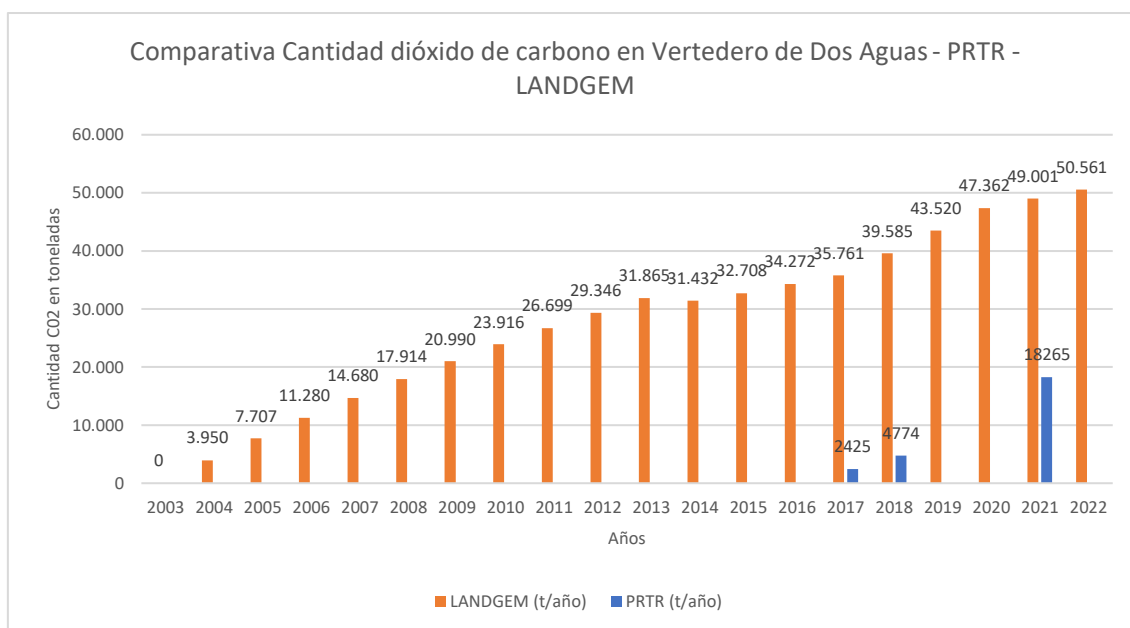
Gráfica 36. Resultados LandGEM Vertedero de Dos Aguas.

Para el caso del metano en el Vertedero de Dos Aguas (gráfica 37), los datos del PRTR son prácticamente nulos en comparación con las simulaciones obtenidas en LandGEM, como se ha analizado en el apartado 5.2.1.3. hay un error en los separadores decimales o en las unidades volcadas en la base de datos del PRTR para este vertedero, pero a pesar de ello, los valores de emisiones calculadas de metano en este caso no se parecen para nada con las del PRTR.



Gráfica 37. Comparativa emisiones metano de PRTR y LandGEM Vertedero de Dos Aguas.

En segundo lugar, en el caso del dióxido de carbono (gráfica 38), los pocos valores del PRTR que se han conseguido, siguen siendo prácticamente despreciables en comparación con los calculados en LandGEM.



Gráfica 38. Comparativa emisiones dióxido de carbono de PRTR y LandGEM Vertedero de Dos Aguas.

En conclusión, para el vertedero de Dos Aguas, tanto para el metano como para el dióxido de carbono los datos del PRTR no se parecen ni en su orden de magnitud con los simulados en LandGEM, los datos públicos en este caso no se parecen para nada con las emisiones reales.

6.6. Vertedero de Caudete de las Fuentes

En el caso del vertedero de Caudete de las Fuentes, se conoce el año de apertura que fue en 2012, por esta razón se han simulado en este caso del año 2012-2022.

Para el caso del vertedero de Caudete de las Fuentes los inputs supuestos han sido los que se muestran en la siguiente captura de pantalla, al igual que en el resto de vertederos se han supuesto los parámetros estándar que recomienda LandGEM. La tasa de aceptación anual del vertedero se ha introducido de la misma forma que en todos los casos de vertederos anteriores (figura 22).

USER INPUTS Landfill Name or Identifier: Vertedero de Caudete de las Fuentes

1: PROVIDE LANDFILL CHARACTERISTICS

Landfill Open Year: 2012
 Landfill Closure Year: 2022
 Have Model Calculate Closure Year? Yes No
 Waste Design Capacity: megagrams

2: DETERMINE MODEL PARAMETERS

Methane Generation Rate, k (year^{-1}):
 Potential Methane Generation Capacity, L_0 (m^3/Mg): CAA Conventional - 170
 NMOC Concentration (ppmv as hexane): CAA - 4.000
 Methane Content (% by volume): CAA - 50% by volume

3: SELECT GASES/POLLUTANTS

Gas / Pollutant #1: Total landfill gas (Default pollutant parameters are currently being used by model.)
 Gas / Pollutant #2: Methane
 Gas / Pollutant #3: Carbon dioxide
 Gas / Pollutant #4: Methane

4: ENTER WASTE ACCEPTANCE RATES

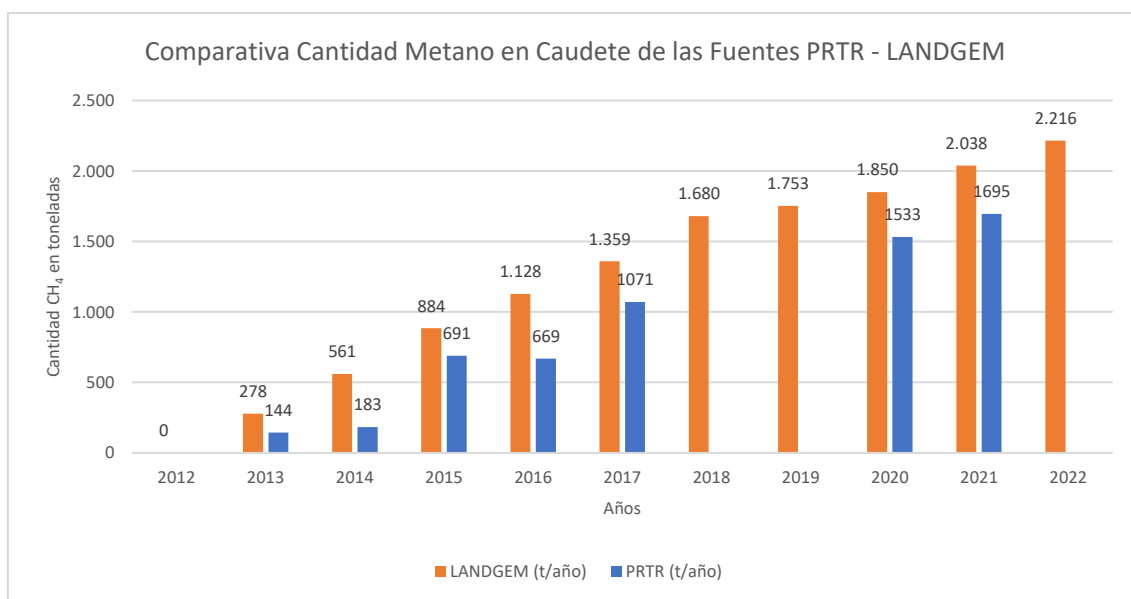
Input Units: Mg/year

Year	Input Units (Mg/year)	Calculated Units (short tons/year)
2012	50111	55.122
2013	53475	58.823
2014	63206	69.527
2015	51711	56.882
2016	51711	56.882
2017	69841	76.825
2018	27935	30.728
2019	32899	36.189
2020	50111	55.122
2021	50111	55.122
2022	50111	55.122
2023	0	
2024	0	
2025	0	
2026	0	
2027	0	
2028	0	
2029	0	
2030	0	
2031	0	
2032		
2033		
2034		
2035		

Figura 22. Inputs LandGEM Vertedero de Caudete de las Fuentes.

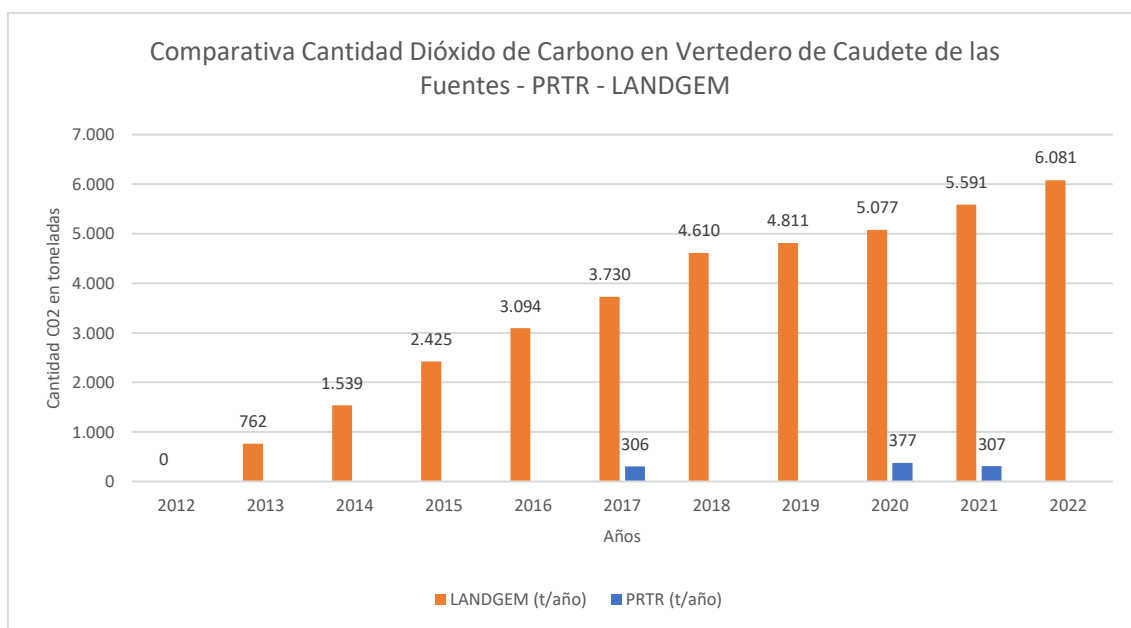
Como se observa en la gráfica comparativa del PRTR con LandGEM (gráfica 39), se puede observar la falta de los datos de emisiones del año 2018 y 2019 pero se puede visualizar que la tendencia de emisiones es creciente y lineal en ambos valores, pero es cierto que las emisiones del registro estatal son del orden del 15% menores que las simuladas en LandGEM.

La similitud entre ambos valores hace pensar que las estimaciones del PRTR se han realizado con LandGEM, pero esto no ha sido así según la información volcada en el Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes.



Gráfica 39. Comparativa emisiones metano de PRTR y LandGEM Vertedero de Caudete de las Fuentes.

En el siguiente caso (gráfica 40), para el dióxido de carbono los valores simulados distan en un 90% de los datos de emisiones del PRTR.



Gráfica 40. Comparativa emisiones Dióxido de Carbono de PRTR y LandGEM Vertedero de Caudete de las Fuentes.

En definitiva, los datos de emisiones de CH₄ del PRTR son similares a las simulaciones de LandGEM, pero sin embargo hay mucha disparidad en la gráfica comparativa del CO₂ donde las emisiones declaradas públicamente distan en más de un 90% con las calculadas.

6.7. Vertedero de Algimia de Alfara

En el caso del vertedero de Algimia de Alfara, se conoce el año de apertura que fue en el año 2011, por esta razón se han simulado del año 2011-2022.

Para el caso del vertedero de Algimia de Alfara los inputs supuestos han sido los que se muestran en la siguiente captura de pantalla, al igual que en el resto de vertederos se han supuesto los parámetros estándar que recomienda LandGEM. La tasa de aceptación anual del vertedero se ha introducido de la misma forma que en todos los casos de vertederos anteriores como el promedio de los valores de los años 2013 a 2019 extendidos a los años en los que no se tienen datos (figura 23).

USER INPUTS Landfill Name or Identifier: Vertedero de Algimia de Alfara

1: PROVIDE LANDFILL CHARACTERISTICS

Landfill Open Year: 2011
 Landfill Closure Year: 2022
 Have Model Calculate Closure Year? Yes No
 Waste Design Capacity: megagrams

2: DETERMINE MODEL PARAMETERS

Methane Generation Rate, k (year^{-1}): 0.05
 Potential Methane Generation Capacity, L_0 (m^3/Mg): CAA Conventional - 170
 NMOC Concentration (ppmv as hexane): CAA - 4.000
 Methane Content (% by volume): CAA - 50% by volume

3: SELECT GASES/POLLUTANTS

Gas / Pollutant #1: Total landfill gas
 Gas / Pollutant #2: Methane
 Gas / Pollutant #3: Carbon dioxide
 Gas / Pollutant #4: Methane

4: ENTER WASTE ACCEPTANCE RATES

Input Units: Mg/year

Year	Input Units (Mg/year)	Calculated Units (short tons/year)
2011	43697	48.067
2012	43697	48.067
2013	25526	28.079
2014	23063	25.369
2015	65176	71.694
2016	65176	71.694
2017	39759	43.735
2018	44017	48.419
2019	43165	47.482
2020	43697	48.067
2021	43697	48.067
2022	43697	48.067
2023	0	0
2024	0	0
2025	0	0
2026	0	0
2027	0	0
2028	0	0
2029	0	0
2030	0	0
2031		
2032		
2033		
2034		
2035		

Figura 23. Inputs LandGEM Vertedero de Algimia de Alfara.

Como se puede observar en la figura 24, se da una gran similitud de resultados en la comparativa de emisiones de CH_4 . Como se ha analizado en el apartado 5.2.1.5. las emisiones publicadas en el PRTR han sido estimadas también con LandGEM, esto justifica la gran similitud con las simulaciones propias. El aspecto que llama la atención es que a pesar de la falta de datos que se tiene, los resultados han dado muy parecidos a los del PRTR, por lo tanto, se tiende a pensar que los valores de emisiones publicados en el PRTR han sido calculados de una manera muy similar, con parámetros quizá estándar y con tasas anuales de rechazo a vertedero semejantes.

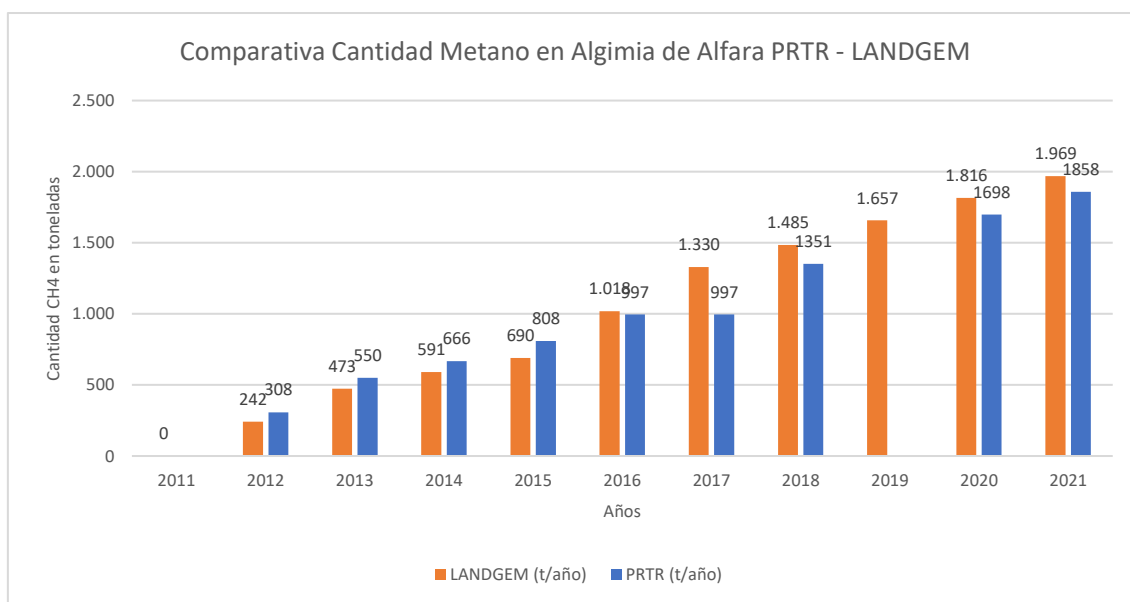
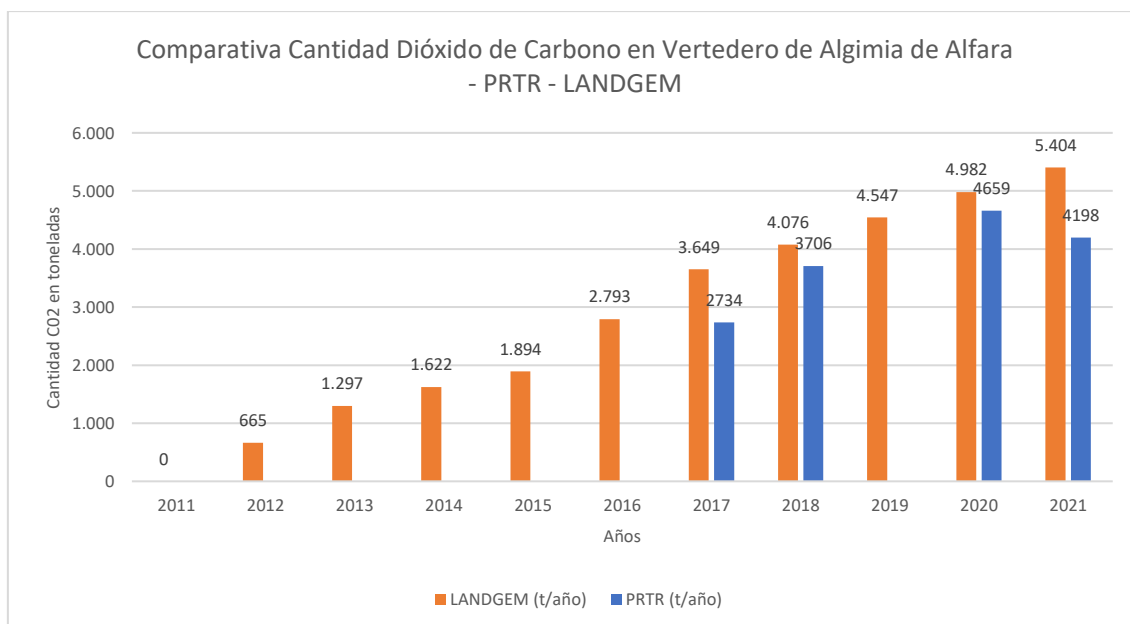


Figura 24. Comparativa emisiones metano de PRTR y LandGEM Vertedero de Algimia de Alfara.

A continuación, para el caso del dióxido de carbono (gráfica 41), se obtienen solamente cuatro datos públicos del PRTR, pero de los que se dan, existe una similitud entre los calculados y los del registro estatal. De la misma manera que para el CH₄ según el apartado 5.2.1.5. se ha observado que las emisiones de CO₂ también se han calculado con LandGEM, de ahí la similitud de los datos. A pesar de todo ello cabe destacar que ante la falta de datos disponibles para modelar las emisiones de CO₂ se han llegado a unos resultados realmente similares, esto quiere decir que las estimaciones del PRTR han utilizado quizá los mismos parámetros estándar en el modelo y aportaciones anuales a vertederos similares.



Gráfica 41. Comparativa emisiones dióxido de carbono de PRTR y LandGEM Vertedero de Algimia de Alfara.

En definitiva, para el caso del vertedero de Algimia de Alfara, tanto las emisiones estimadas publicadas en el PRTR como las calculadas para el análisis se han extraído del modelo matemático LandGEM, se aquí la gran similitud en las gráficas comparativas. A pesar de la falta de datos de parámetros empleados y cantidad de rechazos destinados a vertedero, se ha podido comprobar que los datos tomados para simular las estimaciones del PRTR son realmente similares a los tomados en el presente análisis (parámetros estándar del modelo y aportaciones anuales de rechazos a vertederos).

6.8. Vertedero de Alicante

En el caso del vertedero de Alicante, se conoce que el año de apertura fue anterior al año 2003, pero para el presente análisis es suficiente con la modelación de emisiones de biogás desde hace 20 años, es decir desde el año 2003.

Para el caso del vertedero de Alicante los inputs supuestos han sido los que se muestran en la siguiente captura de pantalla, al igual que en el resto de vertederos, se han supuesto los parámetros estándar que recomienda LandGEM. La tasa de aceptación anual del vertedero se ha introducido de la misma forma que en todos los casos de vertederos anteriores (figura 25).

USER INPUTS Landfill Name or Identifier: Vertedero de Alicante

1: PROVIDE LANDFILL CHARACTERISTICS

Landfill Open Year: 2003

Landfill Closure Year: 2022

Have Model Calculate Closure Year? Yes No

Waste Design Capacity: megagrams

2: DETERMINE MODEL PARAMETERS

Methane Generation Rate, k (year⁻¹): CAA Conventional - 0.05

Potential Methane Generation Capacity, L₀ (m³/Mg): CAA Conventional - 170

NMOC Concentration (ppmv as hexane): CAA - 4.000

Methane Content (% by volume): CAA - 50% by volume

3: SELECT GASES/POLLUTANTS

Gas / Pollutant #1: Total landfill gas

Gas / Pollutant #2: Methane

Gas / Pollutant #3: Carbon dioxide

Gas / Pollutant #4: Methane

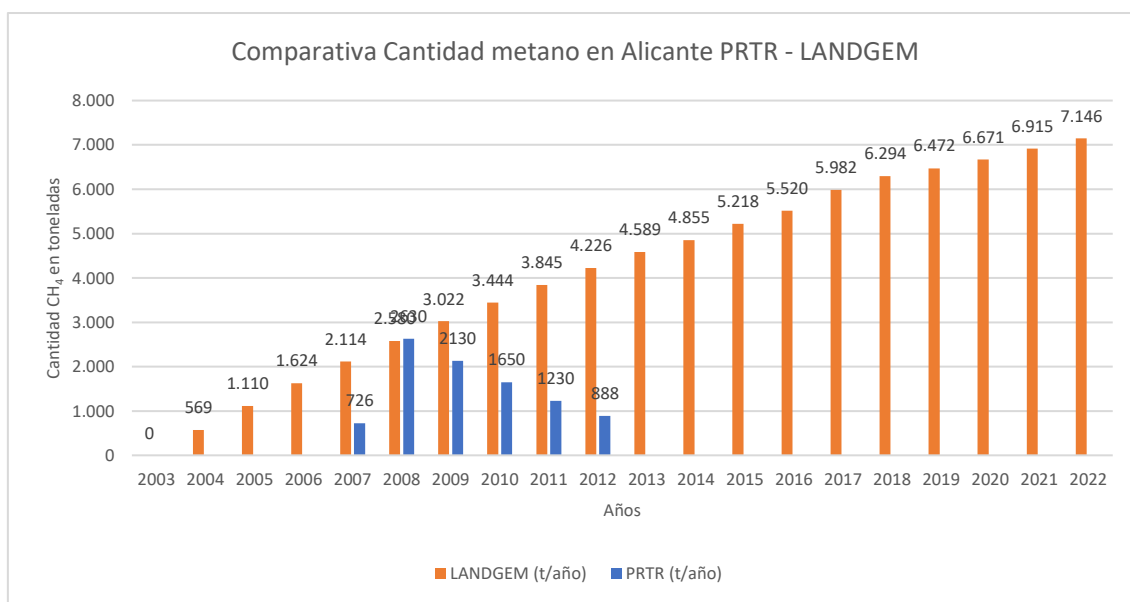
4: ENTER WASTE ACCEPTANCE RATES

Input Units: Mg/year

Year	Input Units (Mg/year)	Calculated Units (short tons/year)
2003	102566	112.823
2004	102566	112.823
2005	102566	112.823
2006	102566	112.823
2007	102566	112.823
2008	102566	112.823
2009	102566	112.823
2010	102566	112.823
2011	102566	112.823
2012	102566	112.823
2013	88455	97.301
2014	108164	118.980
2015	100256	110.282
2016	131923	145.115
2017	108954	119.850
2018	87310	96.041
2019	92902	102.192
2020	102566	112.823
2021	102566	112.823
2022	102566	112.823
2023		
2024		
2025		
2026		
2027		

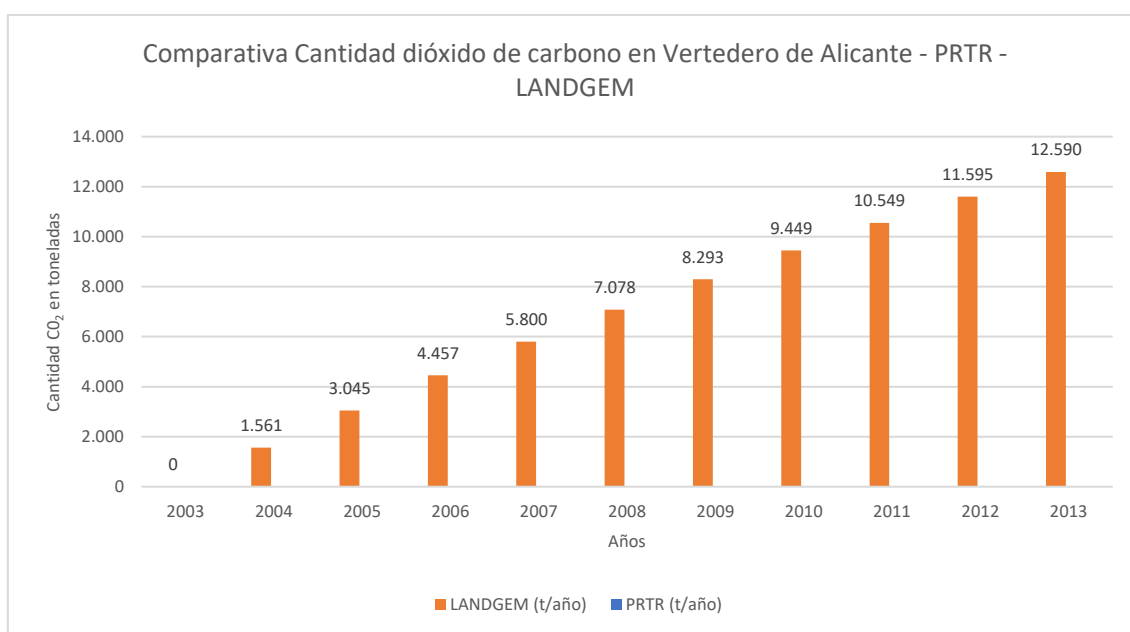
Figura 25. Inputs LandGEM Vertedero de Alicante.

Para el presente vertedero, se observa en la gráfica 42 la gran falta de datos públicos desde el año 2012. De los datos que se encuentran disponibles, solamente hay un valor en el año 2008 que coincide con las simulaciones de LandGEM, pero para el resto de los años ambos valores se van separando cada vez más.



Gráfica 42. Comparativa emisiones metano de PRTR y LandGEM Vertedero de Alicante.

Para el dióxido de carbono (gráfica 43) directamente no se pueden extraer conclusiones debido a que no se encuentran valores publicados en el PRTR.



Gráfica 43. Comparativa emisiones Dióxido de Carbono de PRTR y LandGEM Vertedero de Alicante.

Por lo tanto, para el vertedero de Alicante, no hay datos actualizados de emisiones de metano y de los valores que se han encontrado no hay una correlación similar entre PRTR y las simulaciones propias. En el caso de dióxido de carbono directamente no se encuentran datos públicos y por tanto es imposible extraer conclusiones.

6.9. Vertedero de Elche

En el caso del vertedero de Elche, se conoce que el año de apertura fue anterior al año 2003, pero para el presente análisis es suficiente con la modelación de emisiones de biogás desde hace 20 años, es decir desde el año 2003.

Para el caso del vertedero de Elche los inputs supuestos han sido los que se muestran en la siguiente captura de pantalla, al igual que en el resto de vertederos, se han supuesto los parámetros estándar que recomienda LandGEM. La tasa de aceptación anual del vertedero se ha introducido de la misma forma que en todos los casos de vertederos anteriores (figura 26).

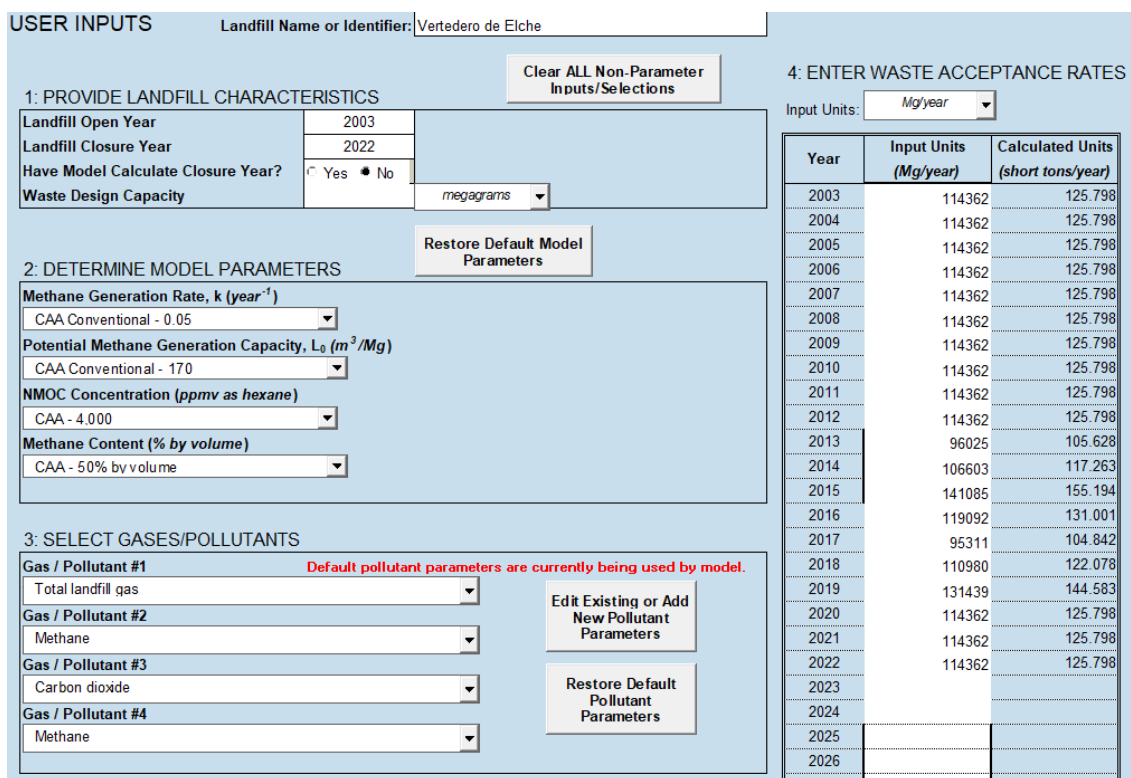
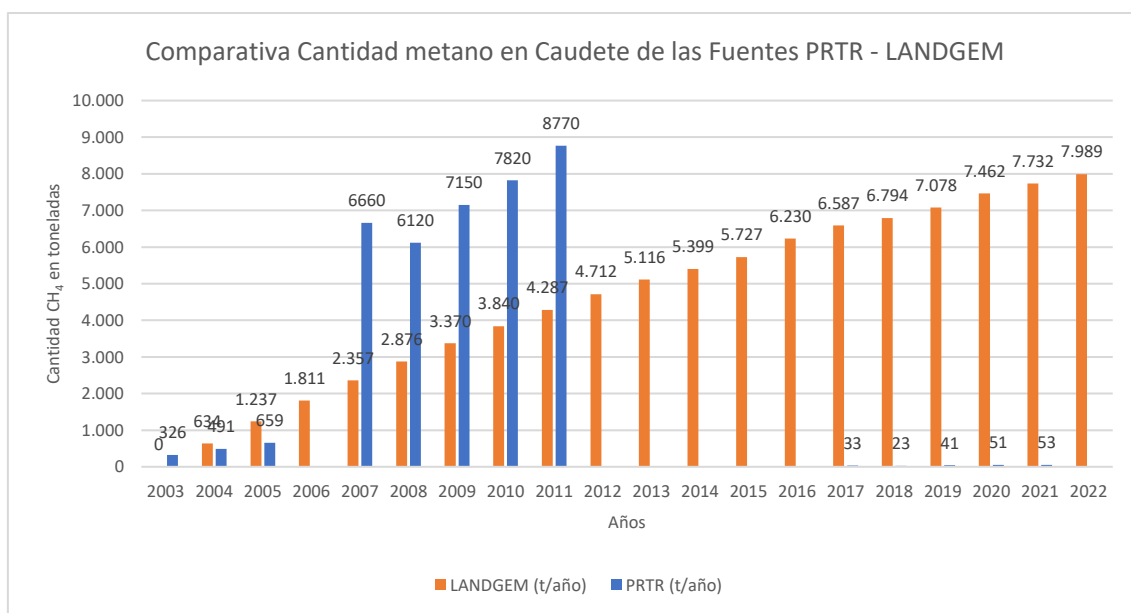


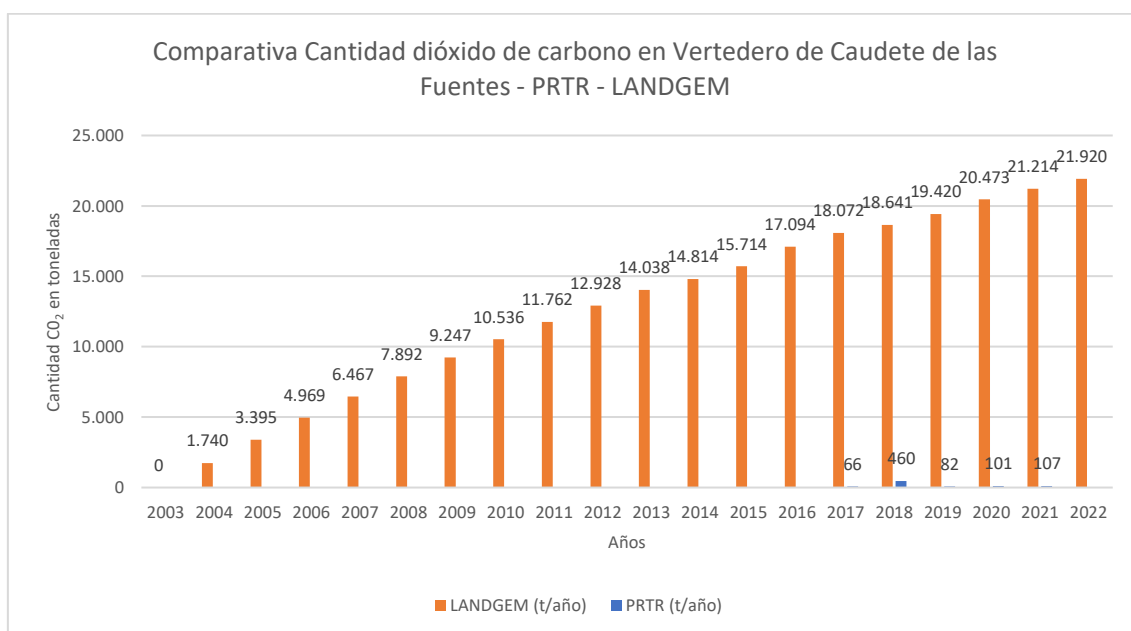
Figura 26. Inputs LandGEM Vertedero de Elche.

Para el caso del vertedero de Elche, los datos que se encuentran disponibles en el PRTR una vez comparados con las simulaciones propias (gráfica 44), se puede observar que carecen de sentido ya que en los años 2017-2021 los valores son minúsculos y en cambio para los años 2007-2011 los valores son del orden del doble que los simulados en LandGEM, por lo tanto estos valores no tienen ningún tipo de sentido para un vertedero que se encuentra en explotación.



Gráfica 44. Comparativa emisiones metano de PRTR y LandGEM Vertedero de Elche.

A continuación, para el caso del dióxido de carbono (gráfica 45) ocurre lo mismo que para el metano en los años 2017 a 2021, lo que ocurre es que los datos publicados en el PRTR son prácticamente despreciables en comparación con los que se han simulado en LandGEM.



Gráfica 45. Comparativa emisiones dióxido de carbono de PRTR y LandGEM Vertedero de Elche.

En definitiva, los datos obtenidos de la base de datos del Registro Estatal de Emisiones, carecen totalmente de sentido para un vertedero que se encuentra en explotación como es este caso el vertedero de Elche.

7. ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN VERTEDEROS DE RSU CON BIOLEACH

Para la estimación de producción de biogás en vertederos de RSU con BIOLEACH, se ha empleado el módulo nº1 de BIOLEACH que se ha expuesto en el apartado 4. “Modelo BIOLEACH”.

Para el modelo matemático de BIOLEACH se debe tener en cuenta un aspecto muy importante sobre los resultados de emisiones que se obtendrán en el siguiente apartado. Las emisiones obtenidas tras correr el modelo matemático serán resultado siempre en condiciones óptimas de humedad, es decir, que con la humedad óptima se generará la máxima producción de biogás que se podría obtener en el vertedero, en concreto maximiza la producción del metano. Otro aspecto que hay que tener en cuenta es que, como en la Comunidad Valenciana no llueve mucho, la producción de biogás se prolongará más en el tiempo, además en la Comunidad Valenciana no existe recirculación de lixiviados que podrían ofrecer esa humedad óptima y generar así la máxima producción de biogás. Como la producción de biogás al no tener la humedad óptima no será la máxima, hay que considerar también que la producción del biogás se alargará aún más en el tiempo respecto a los resultados de BIOLEACH.

Los datos de partida empleados en este modelo matemático han sido de dos tipos, los comunes para todos los vertederos y los particularizados.

Los datos de entrada comunes son:

- Valores del ensayo de caracterización de los RSU.
- Resultados del ensayo de caracterización de las fracciones RRB y RLB.

Los datos de entrada particularizados para cada vertedero son:

- Cantidad de RSU depositados anualmente en el vaso de vertido.

Debido al análisis de composición de residuos sólidos urbanos del apartado 2.2.1. se ha supuesto que, en todos los vertederos analizados, se va a emplear la misma muestra de 100 kg del ensayo de caracterización de residuo analizada en un vertedero de la Comunidad Valenciana. Esto es debido a que no se tienen datos disponibles del ensayo de caracterización de cada vertedero.

Se debe tener en cuenta que al igual que la composición de los RSU es similar en la Comunidad Valenciana, también lo será el ensayo de caracterización de los residuos que se destinan a vertedero.

Datos de entrada comunes a todos los vertederos analizados.

- Valores del ensayo de caracterización de los RSU (tabla 30).

Tabla 30. Ensayo de caracterización RSU empleado en BIOLEACH. Fuente: Vertedero RSU CV

MUESTRA INICIAL (100 kg)			
Componente	% peso húmedo	Humedad (%)	Peso seco (kg)
Restos comida	17,4	70,0	5,2
Papel – cartón	23,8	50,0	11,9
Residuos jardín	3,9	60,0	1,6
Madera	1,1	30,0	0,8
Textiles	22,9	10,0	20,6
Goma	0,0	2,0	0,0
Cuero	0,0	10,0	0,0
Plásticos	17,1	4,0	16,4
Vidrio	7,4	2,0	7,2
Metales férricos	1,6	3,0	1,6
No férricos	0,2	3,0	0,2
Otros	4,7	30,0	3,3
TOTAL	100,0	31,29	68,7

- Análisis químico elemental de las fracciones RRB y RLB (tabla 31)

Tabla 31. %de residuos disponibles para la biodegradación en BIOLEACH.

% de RRB disponibles para degradación	50,00%
% de RLB disponibles para degradación	30,00%

Tabla 32. Análisis químico elemental RSU empleado en BIOLEACH.

Porcentaje en peso (base seca)						
Componente	C	H	O	N	S	Cenizas
Restos comida	48,0	6,4	37,6	2,6	0,4	5,0
Papel – cartón	43,5	6,0	44,0	0,3	0,2	6,0
Residuos jardín	47,8	6,0	38,0	3,4	0,3	4,5
Madera	49,5	6,0	42,7	0,2	0,1	1,5
Textiles	55,0	6,6	31,2	4,6	0,2	2,5
Goma	78,0	10,0	0,0	2,0	0,0	10,0
Cuero	60,0	8,0	11,6	10,0	0,4	10,0

La variación de datos de entrada de un vertedero a otro será la cantidad de residuos almacenadas en toneladas por cada año en el vaso de vertido, por esta razón como estas cantidades se han expuesto en el apartado anterior de análisis con LandGEM, se va a realizar la comparativa entre los datos del Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes, LandGEM y BIOLEACH en el siguiente apartado.

Datos de entrada para cada vertedero.

- Cantidad de RSU depositados mensualmente en el vaso de vertido.

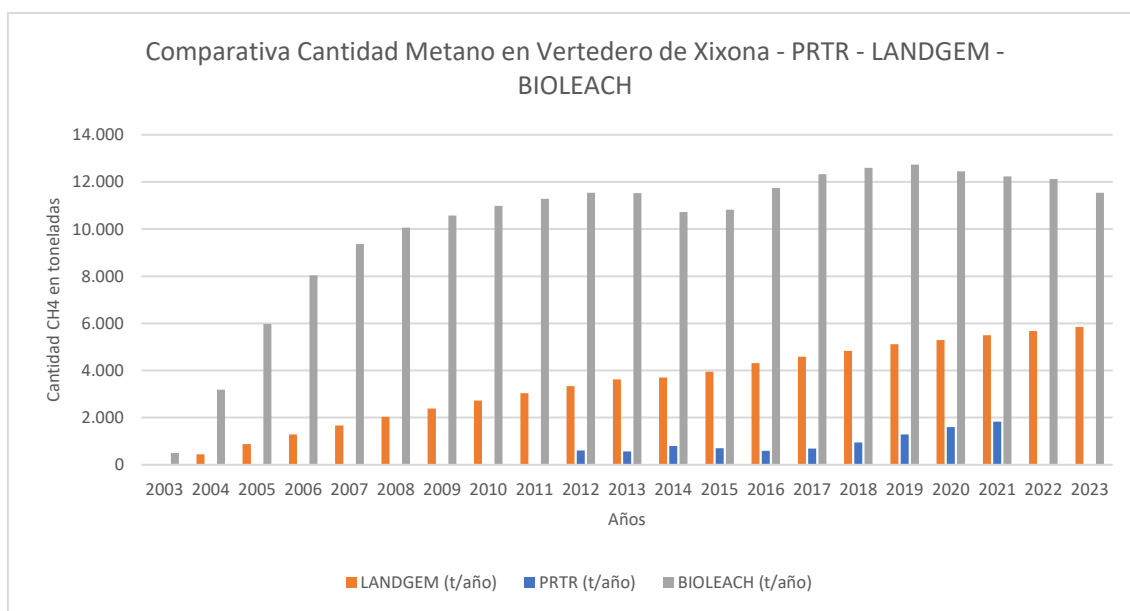
Los datos de entrada para cada vertedero son las tasas de aceptación anuales de cada año, como solamente se tienen los datos de las memorias del MITECO del año 2013 al 2019, se han realizado el promedio de estos valores y se han aplicado este valor a los años en los que no se tienen datos, esto se ha realizado de la misma manera que las tasas de aceptación empleadas en el modelo matemático LandGEM.

8. COMPARATIVAS ESTIMACIONES LANDGEM Y BIOLEACH CON DATOS PUBLICADOS EN FUENTES OFICIALES

En el presente apartado se va a realizar la comparación entre las estimaciones de emisiones del modelo LandGEM, con el modelo BIOLEACH y con los datos publicados en el Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

8.1. Vertedero de Xixona (Provincia de Alicante)

Una vez analizadas las emisiones del vertedero de Xixona (Provincia de Alicante), se han dispuesto en una misma gráfica los valores de emisiones de metano y dióxido de carbono declarados en el PRTR, los valores de la simulación de LandGEM y los valores de BIOLEACH por separado y de manera conjunta.



Gráfica 46. Comparativa Cantidad Metano en Vertedero de Xixona - PRTR - LANDGEM – BIOLEACH. Fuente: propia.

Como se puede observar en la gráfica 46, los datos públicos del PRTR se encuentran muy alejados de las simulaciones de los modelos LandGEM y BIOLEACH. Entre estos últimos, LandGEM ofrece valores más progresivos con un crecimiento lineal del orden de 3 veces superiores a los del PRTR, en cambio los resultados de BIOLEACH son muy superiores a los obtenidos en LandGEM ya que BIOLEACH tiene el objetivo de maximizar la cantidad de Metano y supone que se da la humedad óptima.

Se observa que los valores que han sido declarados públicamente no reflejan los valores reales de emisiones de metano para el vertedero de Xixona en la Provincia de Alicante.

Ahora en forma de tabla se puede observar los datos representados en las gráficas de metano y dióxido de carbono, debido a que LandGEM ofrece los resultados en (t/año) y ($m^3/año$), con esta relación se puede calcular la densidad que se ha empleado tanto para el CH_4 como para el CO_2 . Por otro lado, como BIOLEACH solamente ofrece los resultados en ($m^3/año$) se ha empleado la densidad de LandGEM para calcular las emisiones en toneladas al año, con todo ello ya se pueden comparar los datos de las tres fuentes (PRTR-LandGEM-BIOLEACH). Este procedimiento se ha realizado de igual forma tanto para el metano como para el dióxido de carbono y para todos los vertederos.

Tabla 33. Comparativa Cantidad Metano en Vertedero de Xixona - PRTR - LANDGEM – BIOLEACH.

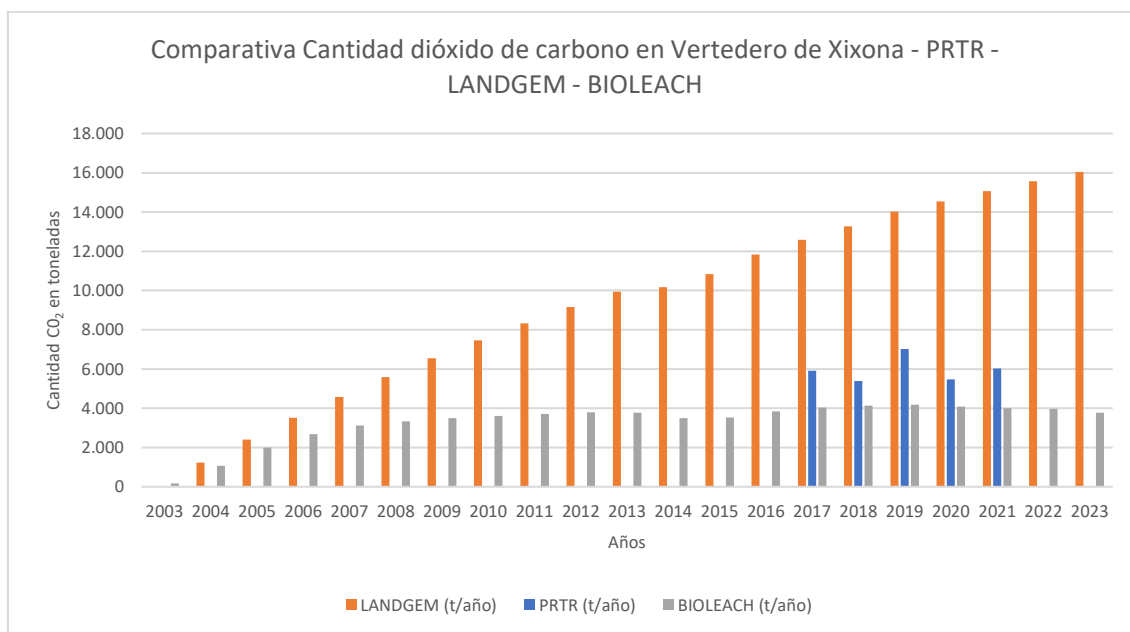
Vertedero de Xixona

Metano

Densidad CH4 LANDGEM 0,67 Kg/m3
 Densidad CH4 BIOLEACH **0,67** Kg/m3

Año	Simulación en LandGEM			Simulación en BIOLEACH		
	PRTR (t/año)	LANDGEM (t/año)	LANDGEM (m3/año)	BIOLEACH (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (t/año)
2003				337.712,20	0,67	504
2004		449	673.251	2.139.609,25	0,67	3.193
2005		876	1.313.667	3.997.802,75	0,67	5.967
2006		1.283	1.922.850	5.385.193,92	0,67	8.038
2007		1.689	2.502.323	6.278.372,44	0,67	9.371
2008		2.037	3.053.534	6.743.483,24	0,67	10.065
2009		2.387	3.577.863	7.086.494,43	0,67	10.577
2010		2.720	4.076.620	7.359.498,77	0,67	10.984
2011		3.036	4.551.052	7.562.496,24	0,67	11.287
2012	613	3.337	5.002.345	7.730.602,36	0,67	11.538
2013	568	3.624	5.431.629	7.722.441,62	0,67	11.526
2014	798	3.705	5.552.922	7.185.159,05	0,67	10.724
2015	696	3.950	5.920.877	7.248.487,47	0,67	10.819
2016	597	4.313	6.465.290	7.871.714,21	0,67	11.749
2017	690	4.588	6.876.986	8.255.453,24	0,67	12.322
2018	940	4.835	7.246.699	8.443.752,48	0,67	12.603
2019	1281	5.111	7.660.896	8.530.754,19	0,67	12.732
2020	1599	5.299	7.942.791	8.338.285,42	0,67	12.445
2021	1836	5.490	8.228.668	8.196.456,67	0,67	12.234
2022		5.671	8.500.602	8.117.948,92	0,67	12.116
2023		5.844	8.759.274	7.732.810,07	0,67	11.542

En el caso del dióxido de carbono (tabla 33 y gráfica 47), se observa que la simulación con LandGEM ofrece valores del orden del doble que los valores estimados por el PRTR, de la misma forma se observa que los resultados de la simulación con BIOLEACH son ligeramente inferiores a los del Registro Estatal de Emisiones.



Gráfica 47. Comparativa Cantidad dióxido de carbono en Vertedero de Xixona - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

Tabla 34. Comparativa Cantidad dióxido de carbono en Vertedero de Xixona - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

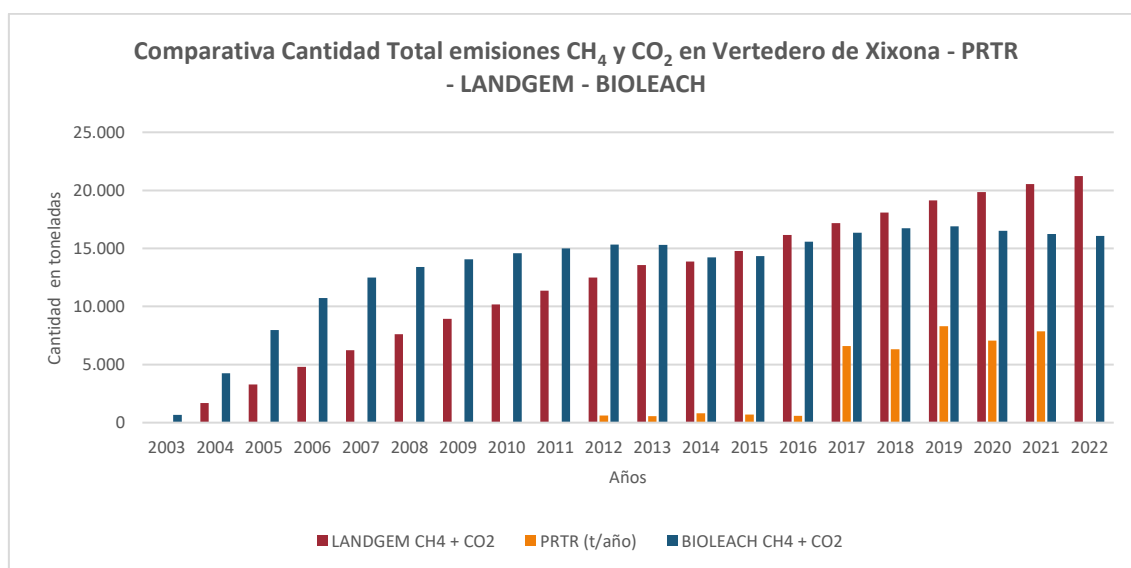
Vertedero de Xixona

Densidad CO2 LANDGEM 1,83 Kg/m3
 Densidad CO2 BIOLEACH **1,83** Kg/m3

Año	Simulación en LandGEM			Simulación en Bioleach			
	Datos PRTR-E PRTR (t/año)	LANDGEM (t/año)	LANDGEM (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (t/año)
2003					309.709,28	1,83	169
2004		1.232	673.251	1,83	1.961.084,97	1,83	1.072
2005		2.405	1.313.667	1,83	3.656.672,48	1,83	1.998
2006		3.520	1.922.850	1,83	4.911.838,39	1,83	2.684
2007		4.580	2.502.323	1,83	5.707.028,49	1,83	3.119
2008		5.589	3.053.534	1,83	6.104.398,55	1,83	3.336
2009		6.549	3.577.863	1,83	6.390.909,54	1,83	3.492
2010		7.462	4.076.620	1,83	6.618.945,09	1,83	3.617
2011		8.331	4.551.052	1,83	6.788.505,17	1,83	3.710
2012		9.157	5.002.345	1,83	6.928.921,15	1,83	3.786
2013		9.943	5.431.629	1,83	6.910.326,40	1,83	3.776
2014		10.165	5.552.922	1,83	6.409.536,52	1,83	3.502
2015		10.838	5.920.877	1,83	6.464.117,83	1,83	3.532
2016		11.835	6.465.290	1,83	7.035.335,82	1,83	3.844
2017	5907	12.588	6.876.986	1,83	7.388.507,44	1,83	4.037
2018	5389	13.265	7.246.699	1,83	7.563.430,42	1,83	4.133
2019	7015	14.023	7.660.896	1,83	7.642.746,90	1,83	4.176
2020	5470	14.539	7.942.791	1,83	7.463.354,11	1,83	4.078
2021	6022	15.063	8.228.668	1,83	7.330.795,04	1,83	4.006
2022		15.560	8.500.602	1,83	7.257.235,73	1,83	3.966
2023		16.034	8.759.274	1,83	6.903.090,43	1,83	3.772

En el caso del vertedero de Xixona, para el metano (tabla 34 y gráfica 48), se observa que los datos publicados en los registros estatales no reflejan la realidad, son valores del orden de un tercio de los simulados en LandGEM y BIOLEACH, en cambio para el dióxido de carbono, los resultados obtenidos en la comparación son distintos a los del CH₄, en este caso LandGEM da valores del orden del doble de los del PRTR, y BIOLEACH ofrece valores del mismo orden de magnitud que los del PRTR, por tanto se puede concluir que las emisiones del CO₂ publicadas se acercan en mayor medida a las reales a pesar de ser algo bajas.

Para obtener una conclusión global de las emisiones totales de metano y dióxido de carbono, se ha realizado una comparación entre PRTR-LandGEM-BIOLEACH, pero ahora con la suma de las emisiones de CH₄ y CO₂ de manera conjunta. Aquí se puede observar mejor la realidad de las emisiones públicas sobre si se aproximan a la de los modelos matemáticos o no, en este caso no se aproxima para nada.

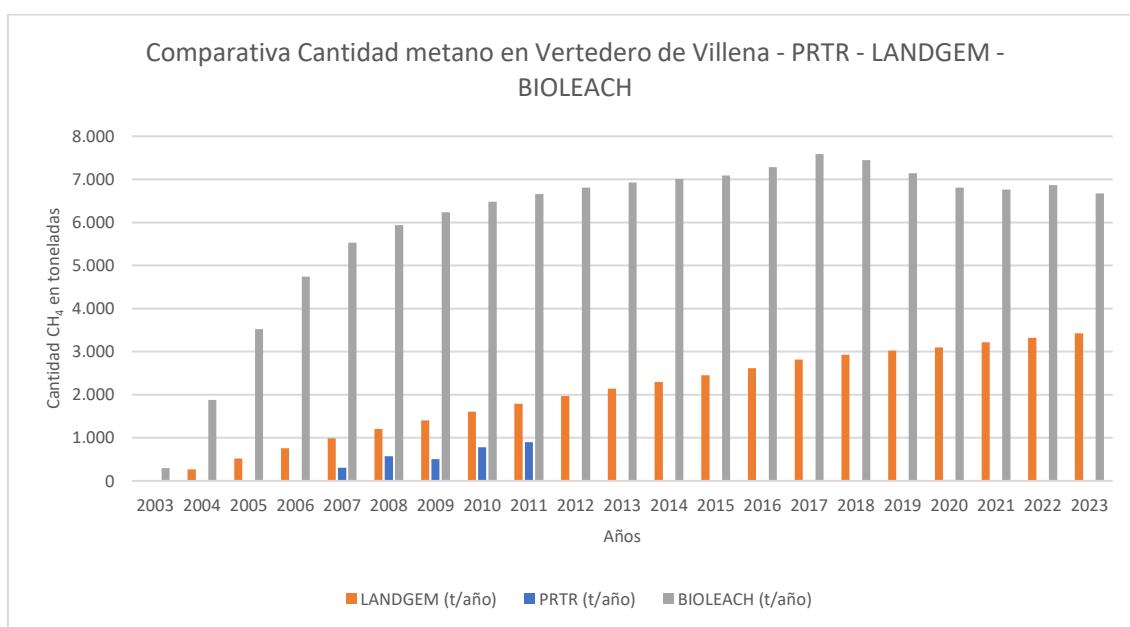


Gráfica 48. Comparativa Cantidad Total emisiones CH₄ y CO₂ en Vertedero de Xixona - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

8.2. Vertedero de Villena (Provincia de Alicante)

Una vez analizadas las emisiones del vertedero de Villena (Provincia de Alicante), se han dispuesto en una misma gráfica los valores de emisiones de metano y dióxido de carbono declarados en el PRTR, los valores de la simulación de LandGEM y los valores de BIOLEACH por separado y de manera conjunta.

Para el caso del metano (gráfica 49 y tabla 35), se puede observar en la siguiente gráfica que apenas existen valores de emisiones declarados en el PRTR, estos son de hace más de 10 años y solamente se tienen 5 valores, es cierto que estos valores siguen un crecimiento en paralelo con los resultados obtenidos en LandGEM, pero de menor orden de magnitud que LandGEM y BIOLEACH. BIOLEACH, como tiende a obtener la máxima cantidad de metano generado en condiciones óptimas de humedad y recirculación de lixiviados, ofrece mayores cantidades de Metano en los primeros años de explotación del vertedero, mientras LandGEM prolonga en el tiempo las emisiones.



Gráfica 49. Comparativa Cantidad metano en Vertedero de Villena - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

Como se ha explicado para el vertedero de Xixona, como los datos obtenidos en BIOLEACH se encuentran en unidades de $\text{m}^3/\text{año}$, para pasar a $\text{t}/\text{año}$ se ha empleado la densidad que utiliza LandGEM para ofrecer los resultados en ambas unidades. La densidad empleada del metano ha sido $0,67 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Tabla 35. Comparativa Cantidad Metano en Vertedero de Villena - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

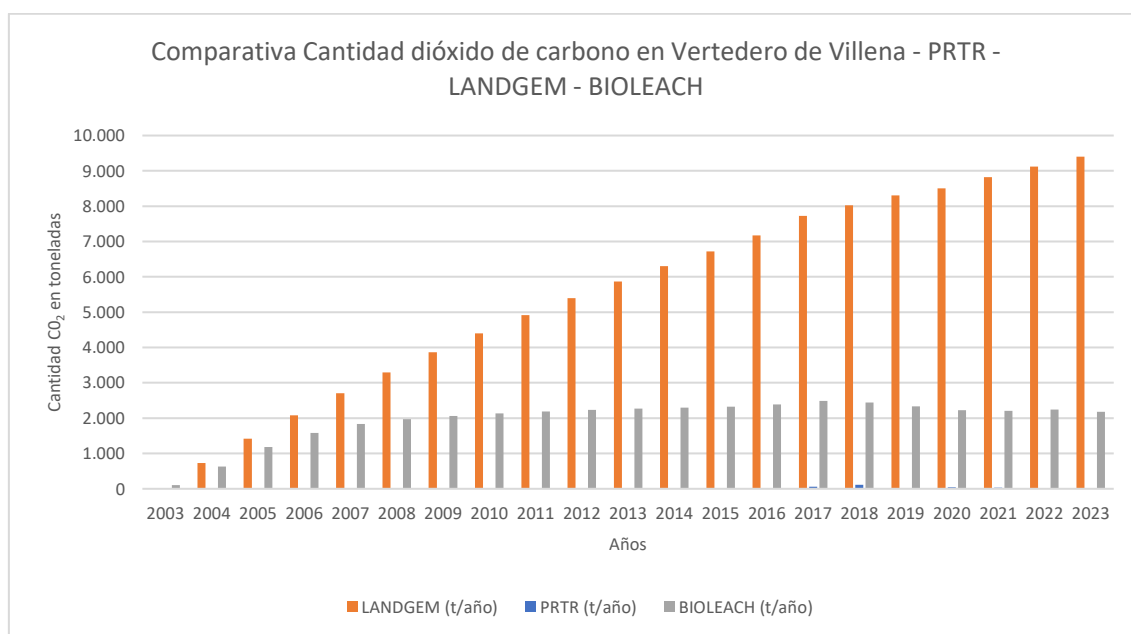
Vertedero de Villena

Metano

Densidad CH4 LANDGEM 0,67 Kg/m3
 Densidad CH4 BIOLEACH 0,67 Kg/m3

Año	Simulación en LandGEM			Simulación en BIOLEACH			
	Datos PRTR-E	LANDGEM (t/año)	LANDGEM (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (t/año)
2003					199.196,00	0,67	297
2004		265	397.110	0,67	1.262.026,06	0,67	1.884
2005		517	774.853	0,67	2.358.062,00	0,67	3.519
2006		757	1.134.173	0,67	3.176.400,12	0,67	4.741
2007	306	985	1.475.969	0,67	3.703.232,10	0,67	5.527
2008	572	1.202	1.801.095	0,67	3.977.572,83	0,67	5.937
2009	503	1.408	2.110.365	0,67	4.179.894,38	0,67	6.239
2010	779	1.604	2.404.551	0,67	4.340.923,12	0,67	6.479
2011	902	1.791	2.684.390	0,67	4.460.659,05	0,67	6.658
2012		1.968	2.950.581	0,67	4.559.814,68	0,67	6.806
2013		2.137	3.203.790	0,67	4.639.206,97	0,67	6.924
2014		2.297	3.443.203	0,67	4.696.561,59	0,67	7.010
2015		2.449	3.671.222	0,67	4.749.817,68	0,67	7.089
2016		2.613	3.916.813	0,67	4.881.927,97	0,67	7.286
2017	24	2.815	4.219.181	0,67	5.085.971,34	0,67	7.591
2018	16	2.926	4.386.066	0,67	4.990.811,34	0,67	7.449
2019	9	3.027	4.537.947	0,67	4.783.267,83	0,67	7.139
2020	19	3.101	4.648.309	0,67	4.561.617,43	0,67	6.808
2021	17	3.215	4.818.718	0,67	4.533.181,98	0,67	6.766
2022		3.323	4.980.817	0,67	4.601.718,13	0,67	6.868
2023		3.426	5.135.009	0,67	4.469.164,04	0,67	6.670

Para el caso del dióxido de carbono (gráfica 50 y tabla 36), los datos de emisiones públicas de CO₂ a penas se aprecian en la siguiente gráfica (año 2017 y 2018), es decir son extremadamente pequeñas en comparación con las simulaciones realizadas. Analizando LandGEM y BIOLEACH, en el caso del CO₂, BIOLEACH ofrece valores más conservadores mientras que LandGEM muestra una tendencia de crecimiento bastante superior, esto se debe a que BIOLEACH tiende a maximizar la producción de metano.



Gráfica 50. Comparativa Cantidad dióxido de carbono en Vertedero de Villena - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

De la misma forma que para el metano, se ha utilizado una densidad del dióxido de carbono de 1,83 Kg/m³.

Vertedero de Villena

Dióxido de Carbono C02

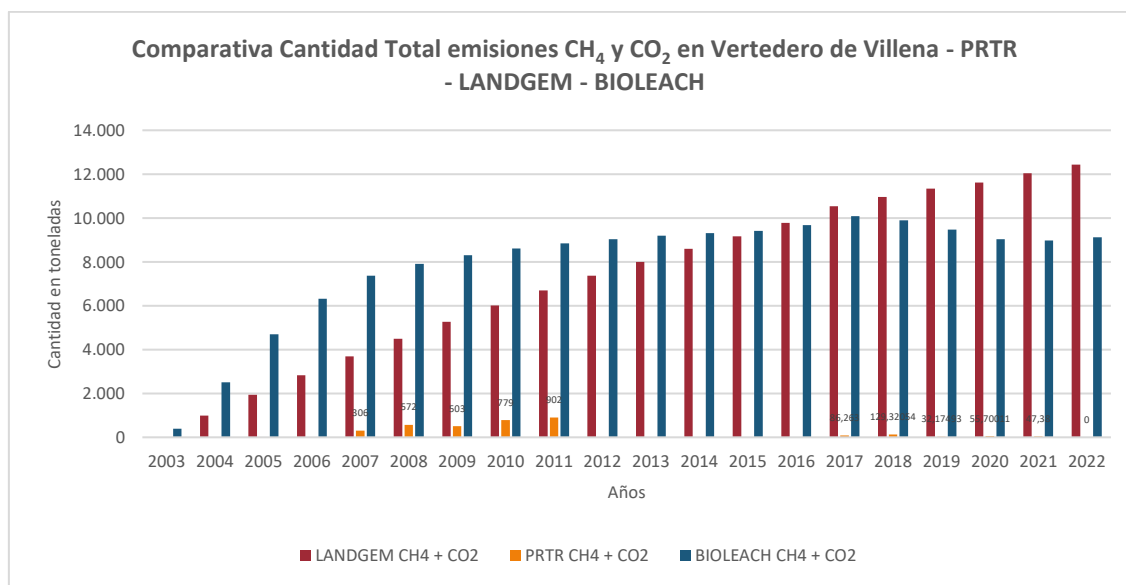
Densidad CO2 LANDGEM 1,83 Kg/m3
 Densidad CO2 BIOLEACH 1,83 Kg/m3

Año	Simulación en LandGEM			Simulación en Bioleach			
	Datos PRTR-E PRTR (t/año)	LANDGEM (t/año)	LANDGEM (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (t/año)
2003					182.678,77	1,83	100
2004		727	397.110	1,83	1.156.725,39	1,83	632
2005		1.418	774.853	1,83	2.156.849,89	1,83	1.179
2006		2.076	1.134.173	1,83	2.897.196,33	1,83	1.583
2007		2.702	1.475.969	1,83	3.366.230,87	1,83	1.839
2008		3.297	1.801.095	1,83	3.600.615,43	1,83	1.968
2009		3.863	2.110.365	1,83	3.769.610,93	1,83	2.060
2010		4.402	2.404.551	1,83	3.904.115,30	1,83	2.133
2011		4.914	2.684.390	1,83	4.004.128,54	1,83	2.188
2012		5.401	2.950.581	1,83	4.086.951,43	1,83	2.233
2013		5.865	3.203.790	1,83	4.153.207,02	1,83	2.270
2014		6.303	3.443.203	1,83	4.200.811,65	1,83	2.296
2015		6.720	3.671.222	1,83	4.246.225,97	1,83	2.320
2016		7.170	3.916.813	1,83	4.365.483,96	1,83	2.386
2017	62	7.723	4.219.181	1,83	4.551.951,98	1,83	2.487
2018	114	8.029	4.386.066	1,83	4.464.708,93	1,83	2.440
2019	23	8.307	4.537.947	1,83	4.274.663,40	1,83	2.336
2020	37	8.509	4.648.309	1,83	4.071.458,22	1,83	2.225
2021	30	8.821	4.818.718	1,83	4.045.766,47	1,83	2.211
2022		9.117	4.980.817	1,83	4.109.985,48	1,83	2.246
2023		9.400	5.135.009	1,83	3.989.750,80	1,83	2.180

Tabla 36. Comparativa Cantidad Dióxido de Carbono en Vertedero de Villena - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

Como conclusión de resultados, para el caso del metano, el modelo LandGEM ofrece valores con una misma tendencia de crecimiento que los valores del PRTR, pero cabe destacar que los valores declarados son del orden de la mitad que los del LandGEM, por otro lado, BIOLEACH ofrece valores de emisiones de Metano mucho mayores y con un crecimiento mayor en los primeros años y menor en el resto de los años. Para el Dióxido de Carbono los pocos datos del PRTR que se tienen son tan pequeños que es difícil extraer conclusiones, pero lo que se puede deducir es que los valores declarados son excesivamente bajos en comparación con los simulados.

Para llegar a una conclusión final, se ha graficado la cantidad total de emisiones (metano+dióxido de carbono) para cada fuente de información (PRTR-LandGEM-BIOLEACH), con esta se observa si las emisiones del PRTR se ajustan a los modelos matemáticos empleados, en el caso del vertedero de Villena las emisiones publicadas en el registro no se asemejan para nada con las simuladas.

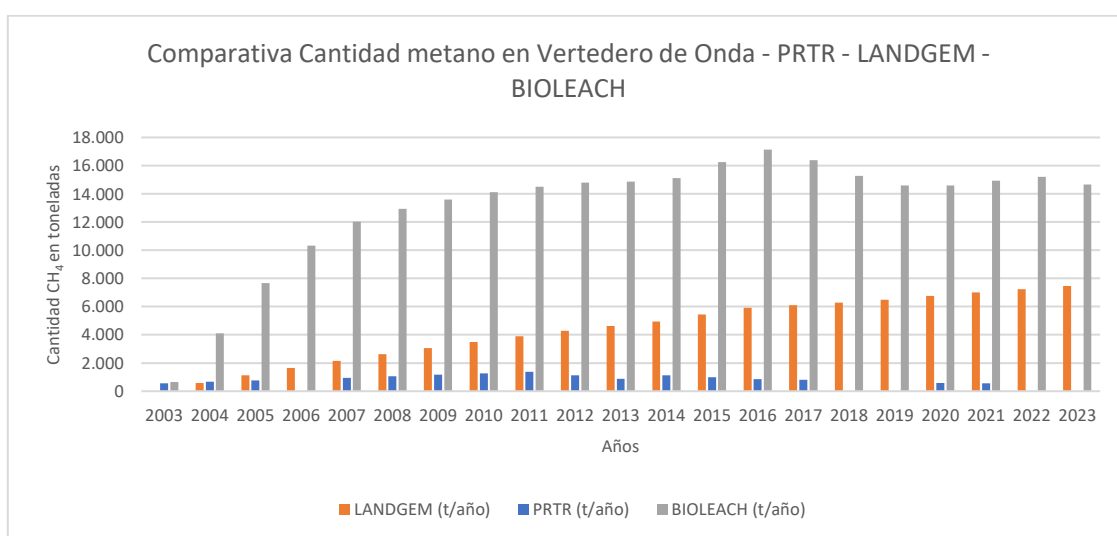


Gráfica 51. Comparativa Cantidad Total emisiones CH4 y CO2 en Vertedero de Villena - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

8.3. Vertedero de Onda (Provincia de Castellón)

En este apartado, una vez analizadas las emisiones del Vertedero de Onda (Provincia de Castellón), se va a realizar la comparativa entre los valores de PRTR y los valores simulados en LandGEM y BIOLEACH tanto del metano como del dióxido de carbono por separado y de manera conjunta.

En primer lugar, el metano (gráfica 52 y tabla 37) declarado en el PRTR representa valores mucho menores a los del resto de simulaciones, en concreto en los primeros años, los valores de LandGEM y de PRTR crecen al principio con un valor similar, pero la diferencia va aumentando con los años, en la que LandGEM ofrece un crecimiento lineal mayor. Por otro lado, BIOLEACH en el inicio tiene un crecimiento mucho mayor debido a que BIOLEACH calcula la cantidad de producción máxima de metano en condiciones óptimas de humedad y con recirculación de lixiviados.



Gráfica 52. Comparativa Cantidad Metano en Vertedero de Onda - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH. Fuente: propia.

De la misma manera que para los vertederos anteriores, para obtener los valores de BIOLEACH en t/año, se ha empleado la misma densidad que LandGEM de 0,67 kg/m³ para el Metano.

Vertedero de Onda

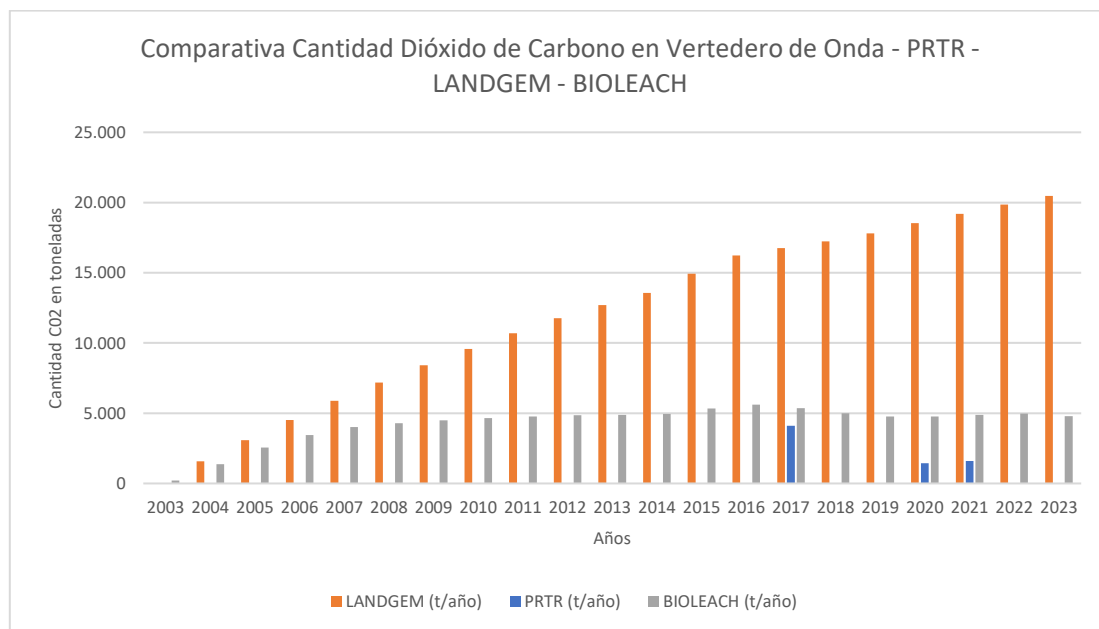
Metano

Densidad CH4 LANDGEM 0,67 Kg/m3
 Densidad CH4 BIOLEACH 0,67 Kg/m3

Año	Datos PRTR-E		Simulación en LandGEM		Simulación en BIOLEACH		
	PRTR (t/año)	LANDGEM (t/año)	LANDGEM (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (t/año)
2003	558				433.848,26	0,67	648
2004	680	577	864.905	0,67	2.748.688,83	0,67	4.103
2005	768	1.126	1.687.627	0,67	5.135.851,69	0,67	7.665
2006		1.648	2.470.225	0,67	6.918.189,57	0,67	10.326
2007	949	2.145	3.214.656	0,67	8.065.627,97	0,67	12.038
2008	1060	2.617	3.922.780	0,67	8.663.141,22	0,67	12.930
2009	1180	3.066	4.596.368	0,67	9.103.796,93	0,67	13.588
2010	1270	3.494	5.237.105	0,67	9.454.517,03	0,67	14.111
2011	1380	3.901	5.846.593	0,67	9.715.301,51	0,67	14.500
2012	1137	4.287	6.426.356	0,67	9.909.314,38	0,67	14.790
2013	881	4.626	6.934.089	0,67	9.966.319,01	0,67	14.875
2014	1137	4.948	7.416.063	0,67	10.122.221,99	0,67	15.108
2015	998	5.446	8.162.706	0,67	10.894.825,50	0,67	16.261
2016	848	5.920	8.872.936	0,67	11.474.544,33	0,67	17.126
2017	819	6.107	9.154.365	0,67	10.972.524,48	0,67	16.377
2018		6.285	9.421.392	0,67	10.239.220,79	0,67	15.282
2019		6.492	9.730.618	0,67	9.776.819,97	0,67	14.592
2020	576	6.752	10.120.955	0,67	9.783.942,50	0,67	14.603
2021	568	7.000	10.492.254	0,67	10.010.437,23	0,67	14.941
2022		7.236	10.845.446	0,67	10.185.225,12	0,67	15.202

Tabla 37. Comparativa Cantidad Metano en Vertedero de Onda - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH. Fuente: propia.

En segundo lugar, para el caso del dióxido de carbono (gráfica 53 y tabla 38), los datos publicados en el PRTR son solamente tres, por lo tanto, será complicado extraer conclusiones, lo que se observa es que la simulación con BIOLEACH es más conservadora debido a la maximización de producción de metano que la simulación con LandGEM en la que el crecimiento de emisiones es lineal y mucho mayor con el paso de los años.



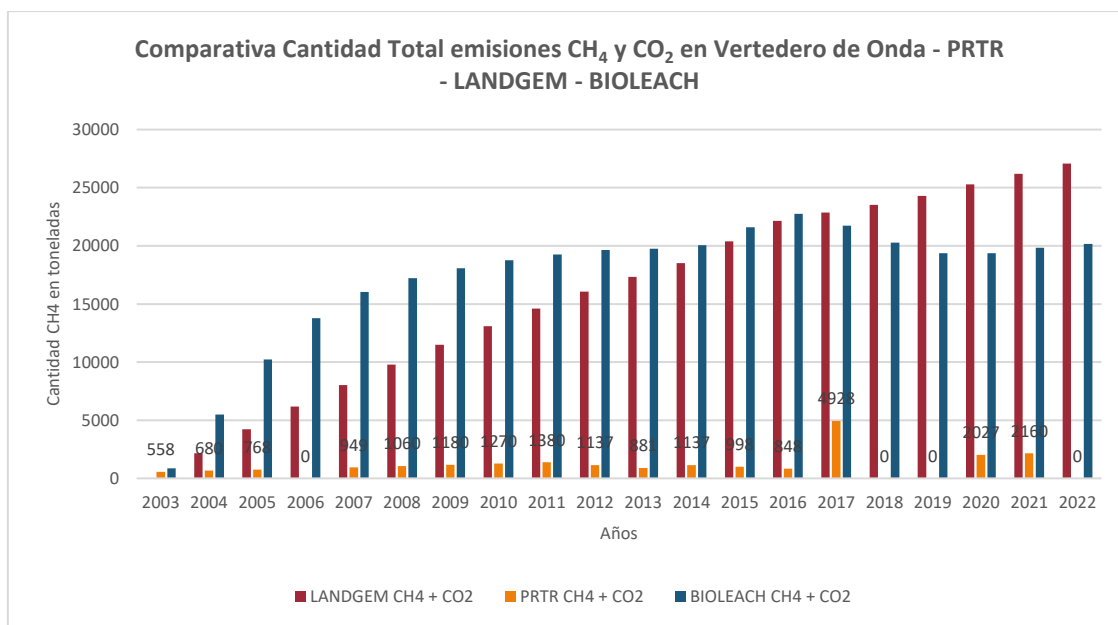
Gráfica 53. Comparativa Cantidad dióxido de carbono en Vertedero de Onda - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

Tabla 38. Comparativa Cantidad dióxido de carbono en Vertedero de Onda - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

Vertedero de Onda							
Dióxido de Carbono CO2		Densidad CO2 LANDGEM	1,83	Kg/m3			
		Densidad CO2 BIOLEACH	1,83	Kg/m3			
Datos PRTR-E		Simulación en LandGEM		Simulación en Bioleach			
Año	PRTR (t/año)	LANDGEM (t/año)	LANDGEM (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (t/año)
2003					397.873,79	1,83	217
2004		1.583	864.905	1,83	2.519.344,29	1,83	1.377
2005		3.089	1.687.627	1,83	4.697.612,33	1,83	2.567
2006		4.522	2.470.225	1,83	6.310.084,58	1,83	3.448
2007		5.884	3.214.656	1,83	7.331.640,34	1,83	4.006
2008		7.181	3.922.780	1,83	7.842.129,18	1,83	4.285
2009		8.414	4.596.368	1,83	8.210.200,86	1,83	4.486
2010		9.587	5.237.105	1,83	8.503.150,96	1,83	4.647
2011		10.702	5.846.593	1,83	8.720.979,48	1,83	4.766
2012		11.763	6.426.356	1,83	8.881.239,60	1,83	4.853
2013		12.693	6.934.089	1,83	8.919.306,67	1,83	4.874
2014		13.575	7.416.063	1,83	9.051.812,93	1,83	4.946
2015		14.942	8.162.706	1,83	9.753.298,24	1,83	5.330
2016		16.242	8.872.936	1,83	10.279.429,37	1,83	5.617
2017	4109	16.757	9.154.365	1,83	9.815.002,15	1,83	5.363
2018		17.246	9.421.392	1,83	9.141.626,56	1,83	4.995
2019		17.812	9.730.618	1,83	8.718.608,39	1,83	4.764
2020	1451	18.526	10.120.955	1,83	8.728.363,28	1,83	4.770
2021	1592	19.206	10.492.254	1,83	8.940.704,87	1,83	4.886
2022		19.853	10.845.446	1,83	9.104.482,75	1,83	4.975

En cuanto a las simulaciones de metano, BIOLEACH ofrece unos resultados muy superiores a los que ofrece LandGEM y los del PRTR, por lo tanto, las emisiones publicadas en el registro estatal no reflejan datos reales. En el caso del dióxido de carbono, LandGEM sobreestima las emisiones, en cambio BIOLEACH ofrece valores mucho más pequeños que aparentemente a pesar de la ausencia de valores, siguen la tendencia de los valores del registro PRTR. En definitiva, los valores del PRTR no reflejan la realidad de emisiones de biogás en el Vertedero de Onda.

Para comparar el total de las emisiones se ha realizado la gráfica 54 como la suma de emisiones de metano y dióxido de carbono para cada una de las fuentes de información (PRTR-LandGEM-BIOLEACH). Como el modelo BIOLEACH maximiza la producción de metano, para poder comparar mejor ambos modelos matemáticos se han sumado las emisiones de CH₄ y CO₂ para poder observar mejor que las emisiones (CH₄+CO₂) publicadas en los registros estatales se alejan de lo que debería ser la realidad. Además de ello, como era de esperar, las emisiones totales tanto de LandGEM como de BIOLEACH son muy similares a diferencia de que BIOLEACH tiende a producir mayor biogás en los primeros años de explotación del vertedero, esto ocurre por las condiciones óptimas de humedad que supone en el modelo.

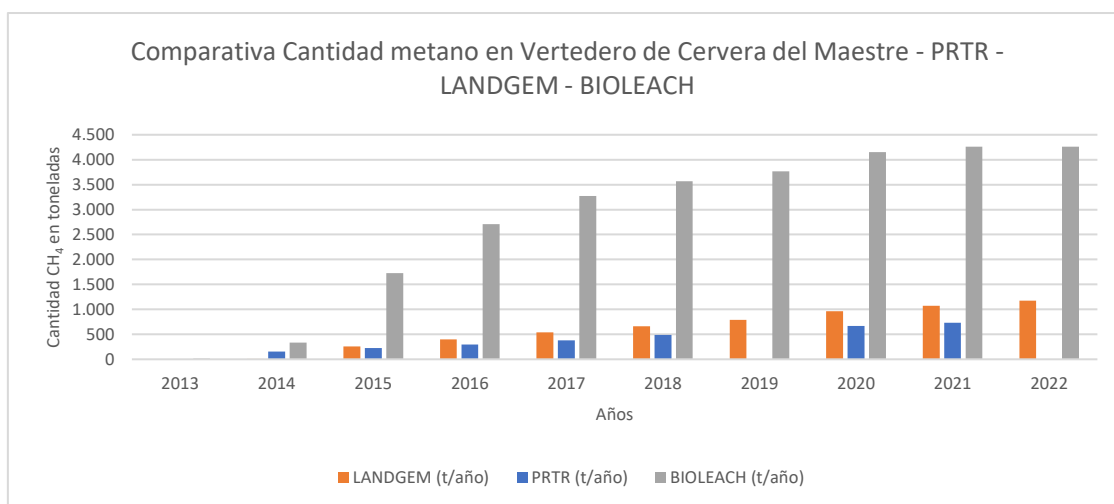


Gráfica 54. Comparativa Cantidad Total emisiones CH₄ y CO₂ en Vertedero de Onda - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

8.4. Vertedero de Cervera del Maestre (Provincia de Castellón)

En este apartado, una vez analizadas las emisiones del Vertedero de Cervera del Maestre (Provincia de Castellón), se va a realizar la comparativa entre los valores de PRTR y los valores simulados en LandGEM y BIOLEACH tanto del metano como del dióxido de carbono por separado y de manera conjunta.

Una vez generada la gráfica comparativa entre los valores del PRTR, LandGEM y BIOLEACH (gráfica 55), se puede observar que la diferencia de los datos del PRTR y LandGEM con BIOLEACH es realmente significativa, del orden de 5 veces mayor que el resto de los valores, esto se debe a que BIOLEACH maximiza la cantidad de metano generado en el vertedero como se ha explicado en el caso de los vertederos anteriores. Los datos publicados en el registro PRTR se han calculado también con LandGEM y por lo tanto PRTR con LandGEM son muy similares a pesar de desconocer los parámetros exactos que se deberían de emplear en el modelo para la simulación.



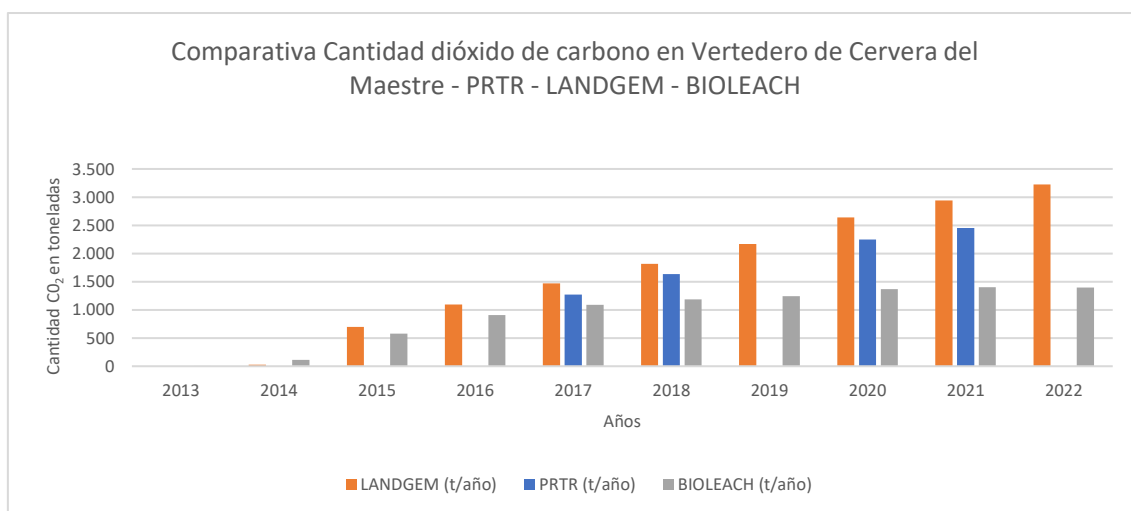
Gráfica 55. Comparativa Cantidad metano en Vertedero de Cervera del Maestro - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

Al igual que en los vertederos anteriores, como LandGEM ofrece los resultados de metano en t/año y en m³/año, con estos se ha calculado la densidad del Metano de LandGEM. En el caso de BIOLEACH como los resultados obtenidos se encuentran en unidades de m³/año, con la densidad del CH₄ se han obtenido los datos simulados en t/año para poder realizar la comparativa (tabla 39).

Tabla 39. Comparativa Cantidad Metano en Vertedero de Cervera del Maestro - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

Vertedero de Cervera del Maestro							
Metano							
		Densidad CH4 LANDGEM	0,67	Kg/m3			
		Densidad CH4 BIOLEACH	0,67	Kg/m3			
Datos PRTR-E	Simulación en LandGEM			Simulación en BIOLEACH			
Año	PRTR (t/año)	LANDGEM (t/año)	LANDGEM (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (t/año)
2013		0	0		7.284	0,67	11
2014	155	10	14.521	0,67	224.227	0,67	335
2015	224	255	381.524	0,67	1.155.257	0,67	1.724
2016	294	399	598.330	0,67	1.814.861	0,67	2.709
2017	380	537	804.563	0,67	2.193.691	0,67	3.274
2018	488	662	991.992	0,67	2.389.446	0,67	3.566
2019		791	1.185.981	0,67	2.523.866	0,67	3.767
2020	670	962	1.442.433	0,67	2.783.175	0,67	4.154
2021	731	1.071	1.605.855	0,67	2.856.157	0,67	4.263
2022		1.175	1.761.306	0,67	2.854.226	0,67	4.260
2023		1.274	1.909.176	0,67	2.721.649	0,67	4.062

Una vez elaborada la gráfica comparativa entre los datos del Dióxido de Carbono para el vertedero de Cervera del Maestro (gráfica 56), se puede observar que los datos del PRTR y los simulados con LandGEM son superiores a los simulados con BIOLEACH. Esto se debe a que BIOLEACH al maximizar la producción de Metano hace que la cantidad de Dióxido de Carbono disminuya.



Gráfica 56. Comparativa Cantidad dióxido de carbono en Vertedero de Cervera del Maestre - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

Al igual que para el metano, para el dióxido de carbono se ha realizado el mismo procedimiento en cuanto a las densidades utilizadas para la conversión de unidades de BIOLEACH de m3/año a t/año (tabla 40).

Tabla 40. Comparativa Cantidad Dióxido de Carbono en Vertedero de Cervera del Maestre - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

Vertedero de Cervera del Maestre

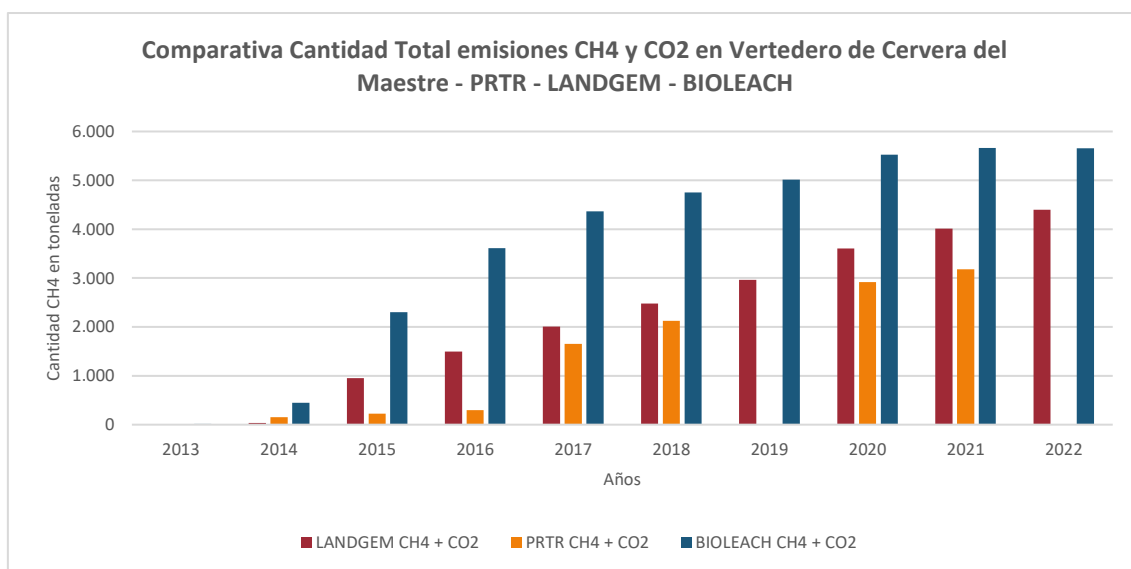
Dióxido de Carbono CO2

Densidad CO2 LANDGEM 1,83 Kg/m3
 Densidad CO2 BIOLEACH 1,83 Kg/m3

Año	Simulación en LandGEM			Simulación en Bioleach		
	PRTR (t/año)	LANDGEM (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (t/año)
2013	0	0	1,83	6.680	1,83	4
2014	27	14.521	1,83	205.535	1,83	112
2015	698	381.524	1,83	1.057.615	1,83	578
2016	1.095	598.330	1,83	1.657.168	1,83	906
2017	1.473	804.563	1,83	1.996.627	1,83	1.091
2018	1.816	991.992	1,83	2.165.925	1,83	1.184
2019	2.171	1.185.981	1,83	2.277.701	1,83	1.245
2020	2.246	1.442.433	1,83	2.506.973	1,83	1.370
2021	2.451	1.605.855	1,83	2.567.372	1,83	1.403
2022	3.224	1.761.306	1,83	2.559.918	1,83	1.399
2023	3.495	1.909.176	1,83	2.433.525	1,83	1.330

En conclusión, se observa que para las emisiones del CH₄, los valores del PRTR y de LandGEM son muy inferiores en comparación con los de BIOLEACH, como ya se ha explicado anteriormente, no ocurre lo mismo en el caso del CO₂, aquí BIOLEACH ofrece valores de emisiones inferiores a LandGEM y PRTR. Para poder comparar la totalidad de emisiones (CH₄ + CO₂) de cada una de las fuentes de información, se ha elaborado la siguiente grafica para concluir si las emisiones totales publicadas en el PRTR se asemejan a la de los modelos matemático o no.

En el caso de vertedero de Cervera del Maestre, como se puede observar en la gráfica 57, las emisiones del PRTR no son tan dispares con respecto a los modelos LandGEM y BIOLEACH como sí que ocurre en el resto de los vertederos anteriores.

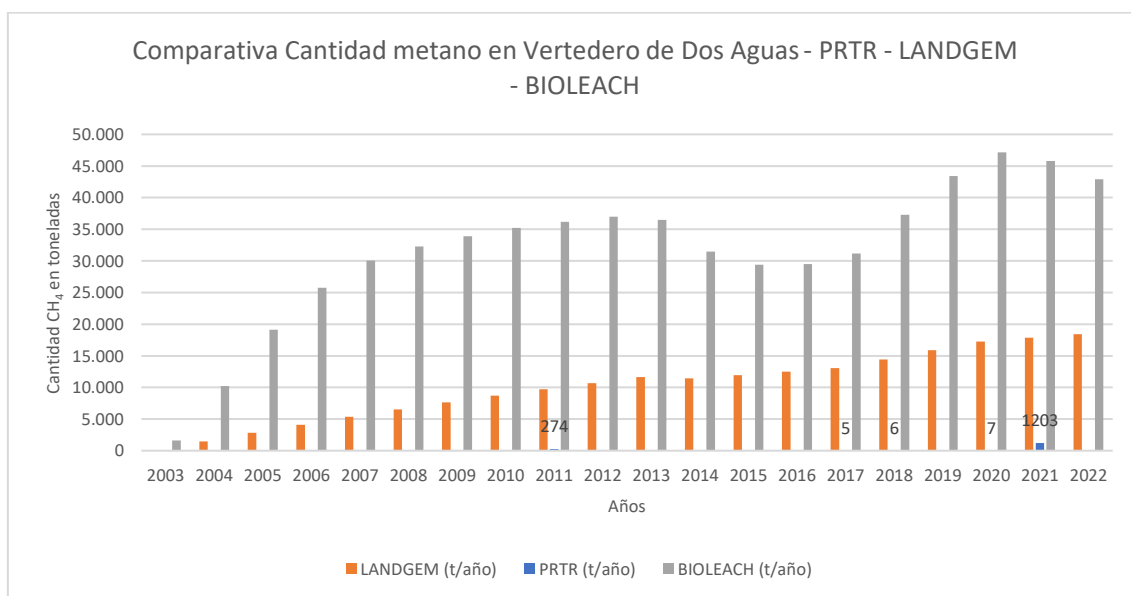


Gráfica 57. Comparativa Cantidad Total emisiones CH₄ y CO₂ en Vertedero de Cervera del Maestre - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

8.5. Vertedero de Dos Aguas (Provincia de Valencia)

En este apartado, una vez analizadas las emisiones del Vertedero de Dos Aguas (Provincia de Valencia), se va a realizar la comparativa entre los valores de PRTR y los valores simulados en LandGEM y BIOLEACH tanto del metano como del dióxido de carbono por separado y de manera conjunta.

Como se puede observar en la gráfica 58 comparativa de metano, los datos del PRTR con respecto a los de LandGEM y BIOLEACH son realmente despreciables y no reflejan para nada la realidad.



Gráfica 58. Comparativa Cantidad metano en Vertedero de Dos Aguas - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

Al igual que en los vertederos anteriores, como LandGEM ofrece los resultados de metano en t/año y en m³/año, con estos se ha calculado la densidad del Metano de LandGEM. En el caso de BIOLEACH como los resultados obtenidos se encuentran en unidades de m³/año, con la densidad del CH₄ se han obtenido los datos simulados en t/año para poder realizar la comparativa (tabla 41).

Tabla 41. Comparativa Cantidad Metano en Vertedero de Dos Aguas - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

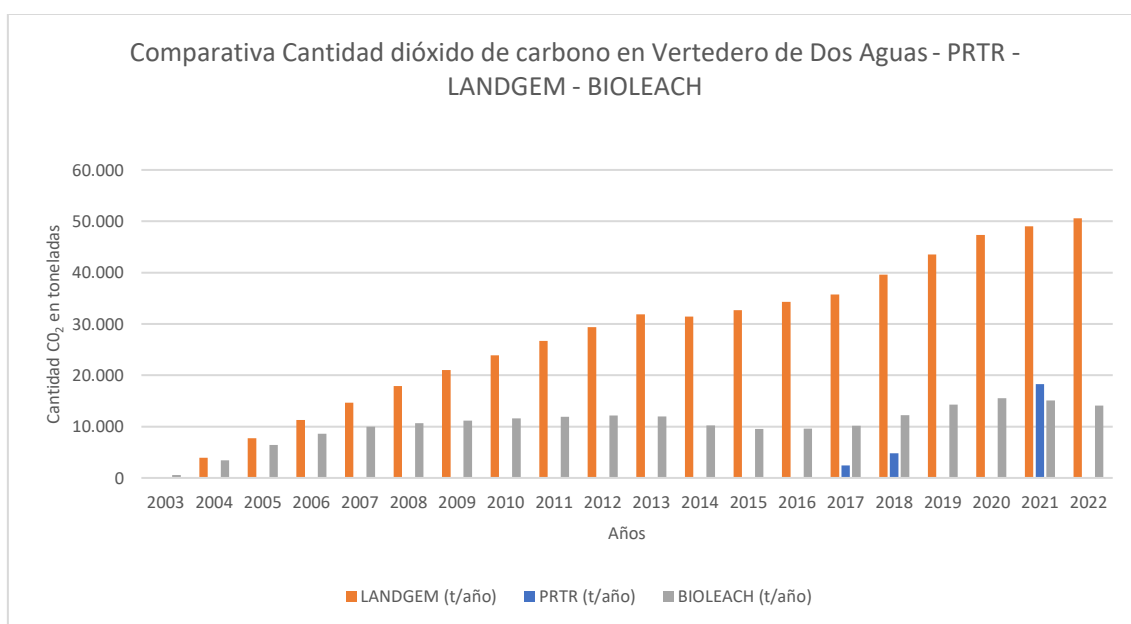
Vertedero de Dos Aguas

Metano

Densidad CH₄ LANDGEM 0,67 Kg/m³
Densidad CH₄ BIOLEACH 0,67 Kg/m³

Año	Simulación en LandGEM			Simulación en BIOLEACH			
	PRTR (t/año)	LANDGEM (t/año)	LANDGEM (m ³ /año)	Densidad kg/m ³	BIOLEACH (m ³ /año)	Densidad kg/m ³	BIOLEACH (t/año)
2003		0	0	0,67	1.082.329	0,67	1.615
2004		1.440	2.157.694	0,67	6.857.205	0,67	10.235
2005		2.809	4.210.155	0,67	12.812.505	0,67	19.123
2006		4.111	6.162.517	0,67	17.258.936	0,67	25.760
2007		5.350	8.019.661	0,67	20.121.472	0,67	30.032
2008		6.529	9.786.231	0,67	21.612.099	0,67	32.257
2009		7.650	11.468.645	0,67	22.711.411	0,67	33.898
2010		8.716	13.065.104	0,67	23.586.359	0,67	35.204
2011	274	9.731	14.585.605	0,67	24.236.943	0,67	36.175
2012		10.696	16.031.950	0,67	24.775.704	0,67	36.979
2013		11.614	17.407.756	0,67	24.435.899	0,67	36.471
2014		11.456	17.171.204	0,67	21.098.601	0,67	31.490
2015		11.921	17.868.360	0,67	19.685.581	0,67	29.381
2016		12.491	18.723.001	0,67	19.766.052	0,67	29.502
2017	5	13.033	19.535.961	0,67	20.871.073	0,67	31.151
2018	6	14.427	21.625.289	0,67	24.989.828	0,67	37.298
2019		15.861	23.774.681	0,67	29.078.739	0,67	43.401
2020	7	17.262	25.873.631	0,67	31.600.640	0,67	47.165
2021	1203	17.859	26.769.453	0,67	30.681.405	0,67	45.793
2022		18.428	27.621.585	0,67	28.738.611	0,67	42.893

A continuación, en el caso de la comparativa de Dióxido de Carbono (gráfica 59), se observa que los datos del PRTR que, a pesar de ser realmente escasos, no reflejan para nada la realidad de las emisiones de CO₂ a la atmósfera.



Gráfica 59. Comparativa Cantidad dióxido de carbono en Vertedero de Dos Aguas - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

De la misma forma que para el metano, en la tabla 42 se observan los datos tomados y calculados para la obtención de la gráfica comparativa del dióxido de carbono.

Tabla 42. Comparativa Cantidad Dióxido de Carbono en Vertedero de Dos Aguas - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

Vertedero de Dos Aguas

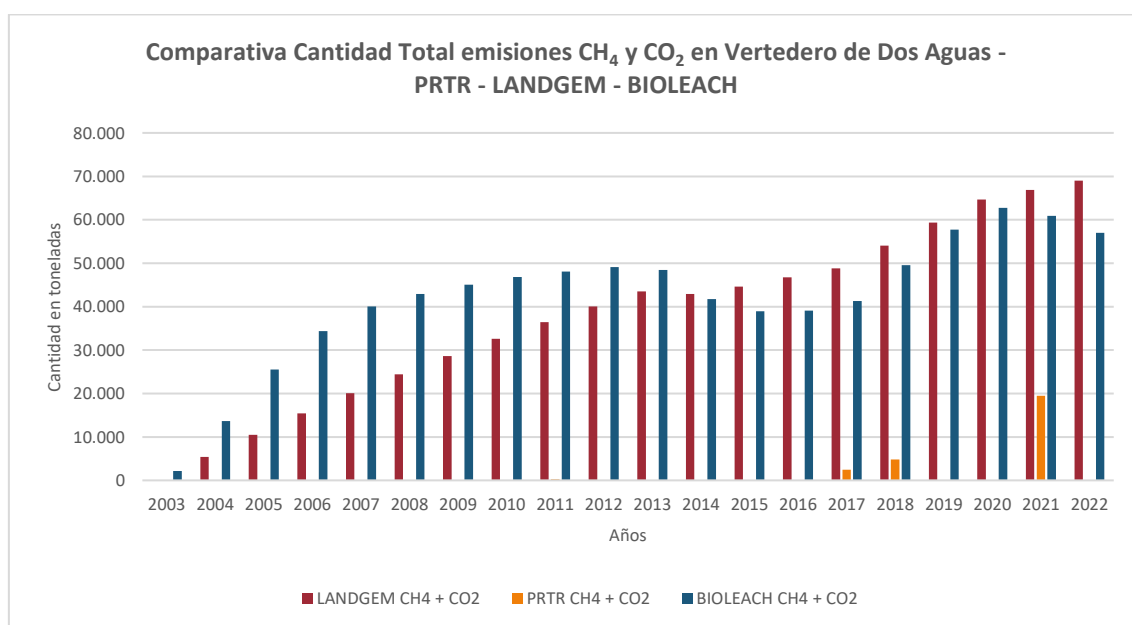
Densidad CO2 LANDGEM 1,83 Kg/m3
 Densidad CO2 BIOLEACH **1,83** Kg/m3

Dióxido de Carbono CO2

Año	Datos PRTR-E	Simulación en LandGEM			Simulación en Bioleach		
	PRTR (t/año)	LANDGEM (t/año)	LANDGEM (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (t/año)
2003		0	0		992.583	1,83	542
2004		3.950	2.157.694	1,83	6.285.055	1,83	3.434
2005		7.707	4.210.155	1,83	11.719.221	1,83	6.404
2006		11.280	6.162.517	1,83	15.741.885	1,83	8.602
2007		14.680	8.019.661	1,83	18.290.379	1,83	9.995
2008		17.914	9.786.231	1,83	19.563.905	1,83	10.691
2009		20.990	11.466.645	1,83	20.482.141	1,83	11.192
2010		23.916	13.065.104	1,83	21.212.969	1,83	11.592
2011		26.699	14.585.605	1,83	21.756.390	1,83	11.889
2012		29.346	16.031.950	1,83	22.206.407	1,83	12.135
2013		31.865	17.407.756	1,83	21.859.170	1,83	11.945
2014		31.432	17.171.204	1,83	18.773.670	1,83	10.259
2015		32.708	17.868.360	1,83	17.472.326	1,83	9.548
2016		34.272	18.723.001	1,83	17.556.628	1,83	9.594
2017	2425	35.761	19.535.961	1,83	18.593.572	1,83	10.160
2018	4774	39.585	21.625.289	1,83	22.400.812	1,83	12.241
2019		43.520	23.774.681	1,83	26.160.201	1,83	14.295
2020		47.362	25.873.631	1,83	28.458.634	1,83	15.551
2021	18265	49.001	26.769.453	1,83	27.582.441	1,83	15.072
2022		50.561	27.621.585	1,83	25.762.025	1,83	14.078

En definitiva, para el vertedero de Dos Aguas, tras comparar los datos públicos del PRTR con los modelos LandGEM y BIOLEACH se ha llegado a la conclusión de que los datos del PRTR no reflejan la realidad de emisiones a la atmósfera tanto para el metano como para el dióxido de carbono.

Se ha observado con suficiente claridad en las gráficas anteriores que las emisiones del PRTR distan sustancialmente de las que deberían ser las reales simuladas por los modelos matemáticos, pero como en los casos anteriores se muestra la gráfica resultado de la suma de CH₄ más CO₂ de cada una de las fuentes de información.

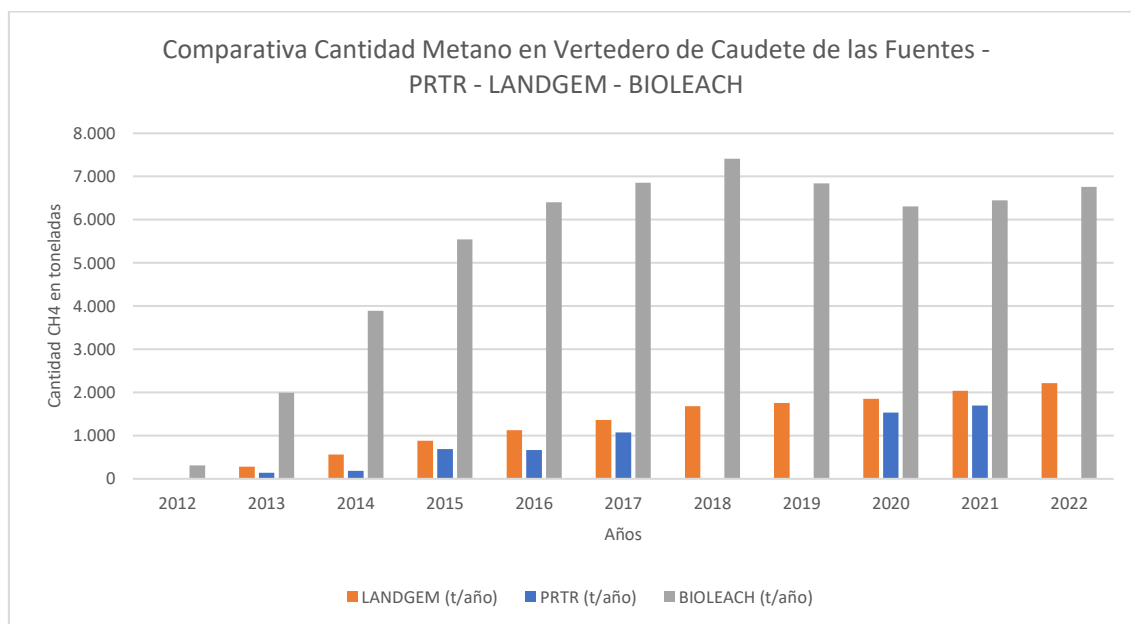


Gráfica 60. Comparativa Cantidad Total emisiones CH₄ y CO₂ en Vertedero de Dos Aguas - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

8.6. Vertedero de Caudete de las Fuentes (Provincia de Valencia)

En este apartado, una vez analizadas las emisiones del Vertedero de Caudete de las Fuentes (Provincia de Valencia), se va a realizar la comparativa entre los valores de PRTR y los valores simulados en LandGEM y BIOLEACH tanto del metano como del dióxido de carbono por separado y de manera conjunta.

Como se puede observar en la gráfica comparativa del metano (gráfica 61), BIOLEACH ofrece valores mucho mayores a los del PRTR y LandGEM, esto se debe a que BIOLEACH simula las emisiones de biogás en condiciones óptimas de humedad que maximizan las emisiones de metano. Como ya se ha visto en el apartado 6.6. los valores del PRTR como se han simulado con LandGEM son muy similares a los simulados en el presente análisis con el mismo software. La similitud entre PRTR y LandGEM da de pensar debido a que si se han realizado numerosas suposiciones ante la falta de datos y los resultados son tan parecidos, es porque los datos tomados de las simulaciones del PRTR también son muy parecidos.



Gráfica 61. Comparativa Cantidad Metano en Vertedero de Caudete de las Fuentes - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

Al igual que en los vertederos anteriores, como LandGEM ofrece los resultados de Metano en t/año y en m³/año, con estos se ha calculado la densidad del metano de LandGEM. En el caso de BIOLEACH como los resultados obtenidos se encuentran en unidades de m³/año, con la densidad del CH₄ se han obtenido los datos simulados en t/año para poder realizar la comparativa (tabla 43).

Tabla 43. Comparativa Cantidad Metano en Vertedero de Caudete de las Fuentes - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

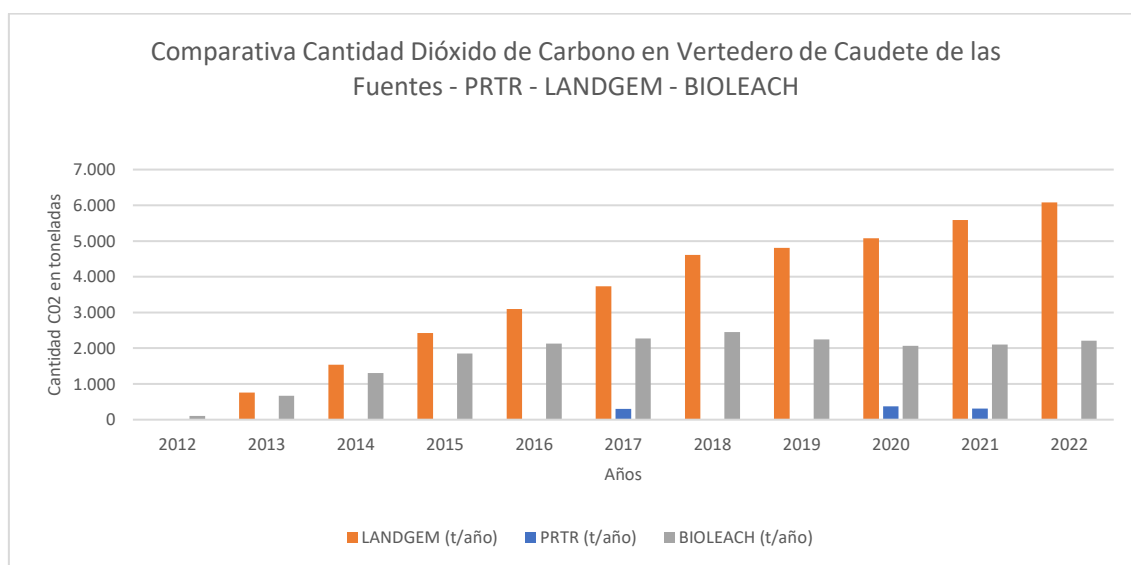
Vertedero de Caudete de las Fuentes

Metano

Densidad CH4 LANDGEM 0,67 Kg/m3
 Densidad CH4 BIOLEACH 0,67 Kg/m3

Año	Datos PRTR-E		Simulación en LandGEM			Simulación en BIOLEACH		
	PRTR (t/año)	PRTR (m3/año)	LANDGEM (t/año)	LANDGEM (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (t/año)
2012			0			208.927,93	0,67	312
2013	144	214.472	278	416.511	0,67	1.337.780,77	0,67	1.997
2014	183	272.882	561	840.668	0,67	2.604.522,68	0,67	3.887
2015	691	1.030.867	884	1.325.020	0,67	3.712.197,46	0,67	5.541
2016	669	998.073	1.128	1.690.207	0,67	4.290.010,84	0,67	6.403
2017	1071	1.597.966	1.359	2.037.583	0,67	4.593.989,27	0,67	6.857
2018			1.680	2.518.711	0,67	4.967.962,77	0,67	7.415
2019			1.753	2.628.058	0,67	4.581.041,65	0,67	6.837
2020	1533	2.288.465	1.850	2.773.338	0,67	4.225.431,73	0,67	6.307
2021	1695	2.530.048	2.038	3.054.592	0,67	4.317.795,89	0,67	6.444
2022			2.216	3.322.129	0,67	4.526.549,01	0,67	6.756

Para el caso de la comparativa del dióxido de carbono (gráfica 62), se puede observar que claramente los resultados del PRTR son escasos y no reflejan la realidad de las emisiones a la atmósfera. LandGEM ofrece unos valores superiores a los de BIOLEACH por lo expuesto anteriormente.



Gráfica 62. Comparativa Cantidad Dióxido de Carbono en Vertedero de Caudete de las Fuentes - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

Al igual que para el metano se ha calculado la densidad del gas que emplea LandGEM y esta se ha empleado para la conversión de unidades de m³/año a t/año en BIOLEACH (tabla 44).

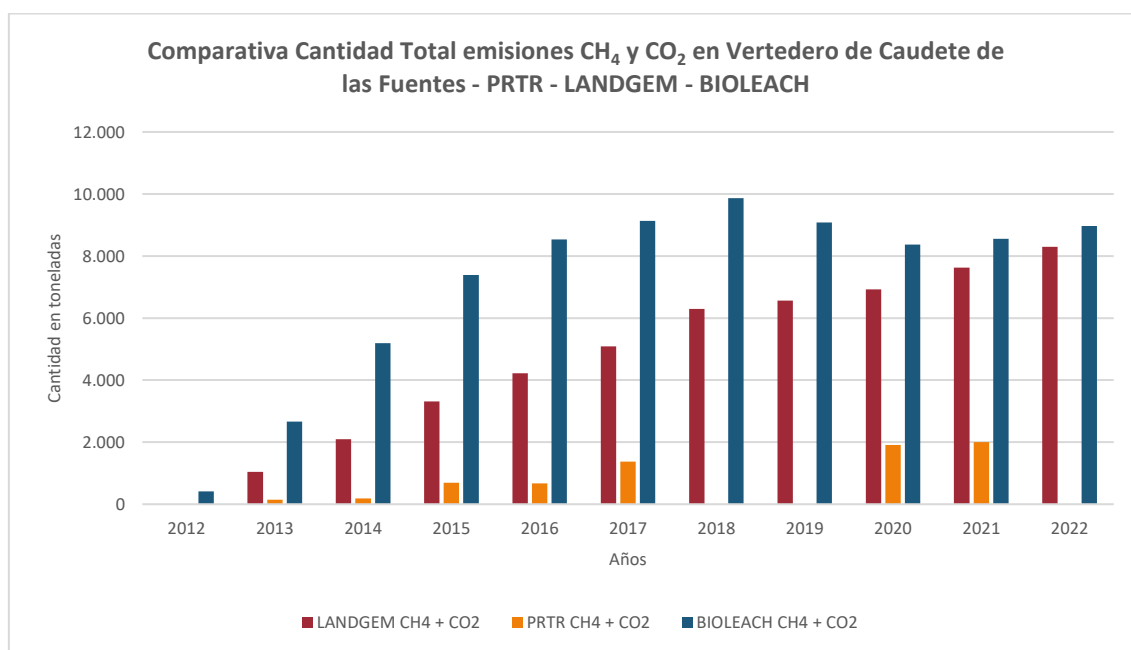
Tabla 44. Comparativa Cantidad Dióxido de Carbono en Vertedero de Caudete de las Fuentes - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

Vertedero de Caudete de las Fuentes

Densidad CO2 LANDGEM 1,83 Kg/m3
 Densidad CO2 BIOLEACH 1,83 Kg/m3

Año	Datos PRTR-E		Simulación en LandGEM			Simulación en Bioleach		
	PRTR (t/año)	PRTR (m3/año)	LANDGEM (t/año)	LANDGEM (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (t/año)
2012			0	0		191.603,74	1,83	105
2013			762	416.511	1,83	1.226.160,67	1,83	670
2014			1.539	840.668	1,83	2.382.400,87	1,83	1.302
2015			2.425	1.325.020	1,83	3.386.811,98	1,83	1.851
2016			3.094	1.690.207	1,83	3.900.322,09	1,83	2.131
2017	306	166.964	3.730	2.037.583	1,83	4.159.150,57	1,83	2.273
2018			4.610	2.518.711	1,83	4.482.579,06	1,83	2.449
2019			4.811	2.628.058	1,83	4.111.608,40	1,83	2.247
2020	377	206.014	5.077	2.773.338	1,83	3.775.479,17	1,83	2.063
2021	307	167.750	5.591	3.054.592	1,83	3.853.680,92	1,83	2.106
2022			6.081	3.322.129	1,83	4.041.003,20	1,83	2.208

Para concluir, el caso del vertedero de Caudete de las Fuentes ofrece valores muy similares de emisiones de metano entre el PRTR y LandGEM y algo más dispares con los resultados de BIOLEACH (gráfica 63). Para el dióxido de carbono las emisiones no se parecen nada a las que deberían ser las reales que se han obtenido con los modelos matemáticos. Con la siguiente gráfica resultado de la suma de las emisiones de CH₄ y CO₂ para PRTR, LandGEM y BIOLEACH se obtiene el resultado que manifiesta que los datos públicos se alejan sustancialmente de los que deberían ser los reales obtenidos con las simulaciones.



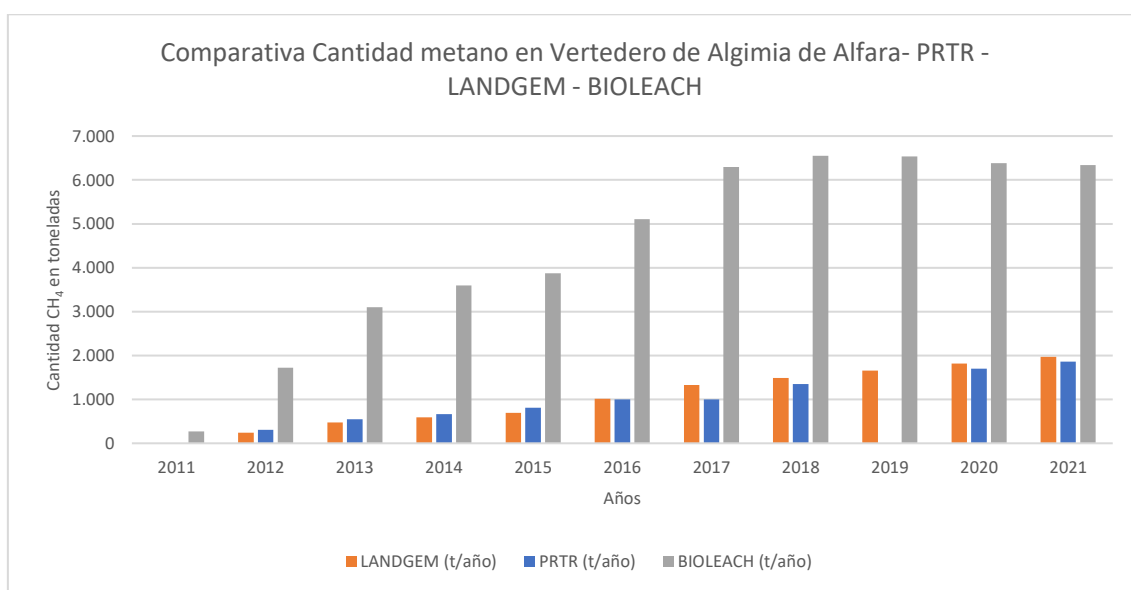
Gráfica 63. Comparativa Cantidad Total emisiones CH₄ y CO₂ en Vertedero de Caudete de las Fuentes - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

8.7. Vertedero de Algimia de Alfara (Provincia de Valencia)

En este apartado, una vez analizadas las emisiones del Vertedero de Algimia de Alfara (Provincia de Valencia), se va a realizar la comparativa entre los valores de PRTR, los valores simulados en LandGEM y los de BIOLEACH tanto del metano como del dióxido de carbono por separado y de manera conjunta.

Como se ha comentado en el apartado 6.7. los resultados del PRTR del vertedero de Algimia de Alfara se han obtenido con el modelo LandGEM, por lo tanto, como se puede observar a continuación, los datos simulados en LandGEM como los obtenidos del PRTR son muy similares (gráfica 64). Es BIOLEACH el modelo que ofrece resultados de emisiones mayores debido a que las calcula en condiciones óptimas de humedad y con recirculación de lixiviados, por lo tanto, tienen sentido que las emisiones de este modelo sean bastante mayores al tratarse de una zona sin la humedad óptima y sin recirculación de lixiviados.

La similitud entre PRTR y LandGEM da de pensar debido a que, si se han realizado numerosas suposiciones ante la falta de datos y los resultados son tan parecidos, es porque los datos tomados de las simulaciones del PRTR también son muy parecidos.



Gráfica 64. Comparativa Cantidad metano en Vertedero de Algimia de Alfara- PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

Como en el resto de los vertederos en la tabla 45 se observan todos los datos empleados para graficar la comparativa entre PRTR, LandGEM y BIOLEACH.

Tabla 45. Comparativa Cantidad Metano en Vertedero de Algimia de Alfara- PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

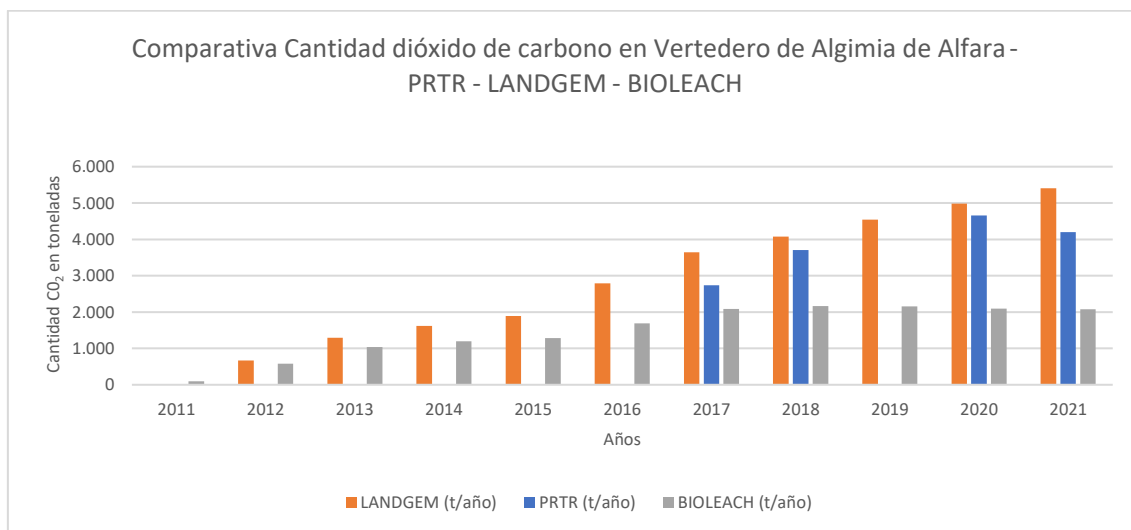
Vertedero de Algimia de Alfara

Densidad CH4 LANDGEM 0,67 Kg/m3
 Densidad CH4 BIOLEACH 0,67 Kg/m3

Metano

Año	Datos PRTR-E		Simulación en LandGEM		Simulación en BIOLEACH		
	PRTR (t/año)	LANDGEM (t/año)	LANDGEM (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (t/año)
2011		0	0		182.187	0,67	272
2012	308	242	363.202	0,67	1.154.264	0,67	1.723
2013	550	473	708.690	0,67	2.079.620	0,67	3.104
2014	666	591	886.292	0,67	2.408.728	0,67	3.595
2015	808	690	1.034.761	0,67	2.594.956	0,67	3.873
2016	997	1.018	1.526.021	0,67	3.420.911	0,67	5.106
2017	997	1.330	1.993.322	0,67	4.217.559	0,67	6.295
2018	1351	1.485	2.226.572	0,67	4.390.544	0,67	6.553
2019		1.657	2.483.838	0,67	4.377.150	0,67	6.533
2020	1698	1.816	2.721.477	0,67	4.277.941	0,67	6.385
2021	1858	1.969	2.951.951	0,67	4.246.258	0,67	6.338
2022		2.116	3.171.184	0,67	4.302.277	0,67	6.421

Ocurre de la misma manera en el caso del dióxido de carbono (gráfica 65), como los datos del PRTR se han obtenido con LandGEM, los resultados con la simulación propia en LandGEM son muy similares. Las principales diferencias se aprecian en el modelo BIOLEACH que ofrece valores menores como se observa en la gráfica 65.



Gráfica 65. Comparativa Cantidad dióxido de carbono en Vertedero de Algimia de Alfara - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

En la tabla 46 del dióxido de carbono se tienen todos los datos que se han empleado para graficar la comparativa anterior.

Tabla 46. Comparativa Cantidad Dióxido de Carbono en Vertedero de Algimia de Alfara - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

Vertedero de Algimia de Alfara

Densidad CO2 LANDGEM 1,83 Kg/m3

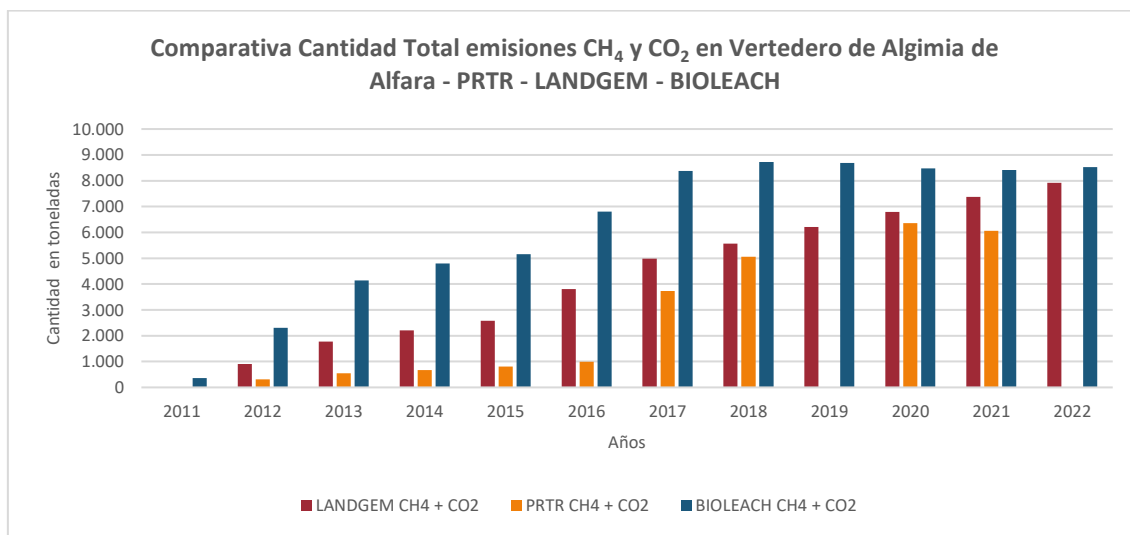
Dióxido de Carbono CO2

Densidad CO2 BIOLEACH 1,83 Kg/m3

Año	Simulación en LandGEM			Simulación en Bioleach			
	Datos PRTR-E PRTR (t/año)	LANDGEM (t/año)	LANDGEM (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (t/año)
2011		0	0		167.080	1,83	91
2012		665	363.202	1,83	1.057.955	1,83	578
2013		1.297	708.690	1,83	1.902.090	1,83	1.039
2014		1.622	886.292	1,83	2.195.285	1,83	1.200
2015		1.894	1.034.761	1,83	2.355.072	1,83	1.287
2016		2.793	1.526.021	1,83	3.099.851	1,83	1.694
2017	2.734	3.649	1.993.322	1,83	3.817.250	1,83	2.086
2018	3.706	4.076	2.226.572	1,83	3.963.876	1,83	2.166
2019		4.547	2.483.838	1,83	3.940.343	1,83	2.153
2020	4.659	4.982	2.721.477	1,83	3.838.054	1,83	2.097
2021	4.198	5.404	2.951.951	1,83	3.800.687	1,83	2.077
2022		5.805	3.171.184	1,83	3.847.207	1,83	2.102

Como conclusión, cabe destacar que para el metano al emplearse en el PRTR el método LandGEM, los datos públicos con los simulados propios en LandGEM son realmente similares a pesar de no conocer con exactitud los parámetros empleados ni las tasas de aceptación anual de rechazos a vertederos. En cambio, con BIOLEACH los resultados de emisiones de CH₄ son mucho mayores debido a que han sido calculados en condiciones óptimas de humedad. Por otro lado, en el caso del Dióxido de Carbono al igual que con el metano los resultados del PRTR y LandGEM propios son muy similares.

A continuación, se muestra la gráfica resultado de la suma de CH₄ y CO₂ para cada una de las fuentes de información (PRTR-LandGEM-BIOLEACH) (gráfica 66). Como se puede ver, no hay una disparidad excesiva entre los datos del PRTR con los de LandGEM pero en cambio, la diferencia aumenta con BIOLEACH que ofrece valores algo mayores, pero dentro de un margen, la disparidad entre los datos públicos y los simulados no es tan elevada como otros casos anteriores.

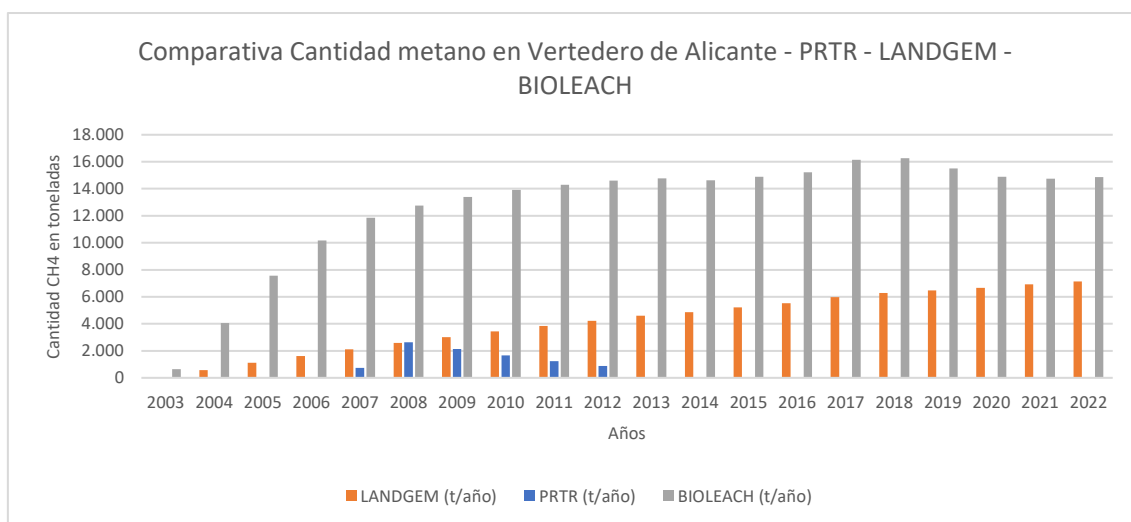


Gráfica 66. Comparativa Cantidad Total emisiones CH₄ y CO₂ en Vertedero de Algimia de Alfara - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

8.8. Vertedero de Alicante (Provincia de Alicante)

En este apartado, una vez analizadas las emisiones del Vertedero de Alicante (Provincia de Valencia), se va a realizar la comparativa entre los valores de PRTR, los valores simulados en LandGEM y los de BIOLEACH tanto del Metano como del Dióxido de Carbono por separado y de manera conjunta.

Como se puede observar en la gráfica 67, solamente se tienen datos de emisiones del PRTR de hace más de 10 años, por lo que es difícil extraer conclusiones, pero lo que está claro es que con los datos del Registro Estatal de Emisiones no se refleja la realidad de las emisiones a la atmósfera de metano. Ocurre el mismo fenómeno entre la diferencia de LandGEM con BIOLEACH que ya se ha explicado en repetidas ocasiones anteriormente.



Gráfica 67. Comparativa Cantidad Metano en Vertedero de Alicante - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH. Fuente: propia.

Como en el resto de los vertederos, en la tabla 47 se muestran los datos empleados para graficar las comparativas.

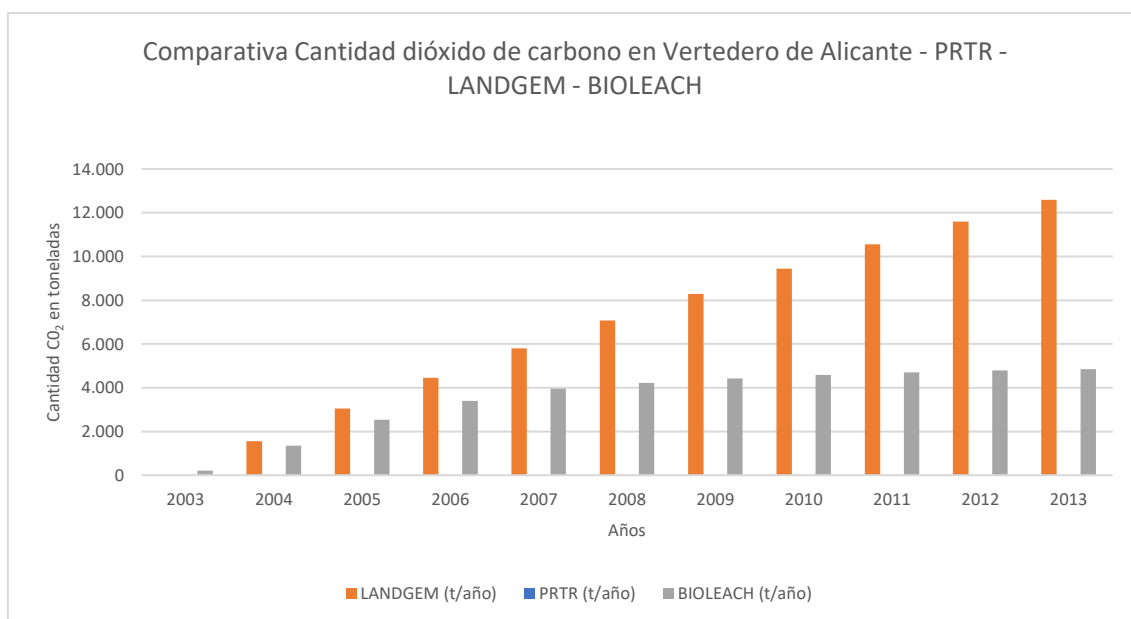
Tabla 47. Comparativa Cantidad Metano en Vertedero de Alicante - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

Vertedero de Alicante

Densidad CH4 LANDGEM 0,67 Kg/m3
 Densidad CH4 BIOLEACH 0,67 Kg/m3

Año	Simulación en LandGEM			Simulación en BIOLEACH			
	PRTR (t/año)	LANDGEM (t/año)	LANDGEM (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (t/año)
2003		0	0		427.628	0,67	638
2004		569	852.505	0,67	2.709.283	0,67	4.044
2005		1.110	1.663.433	0,67	5.062.223	0,67	7.556
2006		1.624	2.434.812	0,67	6.819.009	0,67	10.178
2007	726	2.114	3.168.570	0,67	7.949.997	0,67	11.866
2008	2630	2.580	3.866.542	0,67	8.538.944	0,67	12.745
2009	2130	3.022	4.530.473	0,67	8.973.282	0,67	13.393
2010	1650	3.444	5.162.025	0,67	9.318.975	0,67	13.909
2011	1230	3.845	5.762.775	0,67	9.576.020	0,67	14.293
2012	888	4.226	6.334.226	0,67	9.788.885	0,67	14.610
2013		4.589	6.877.807	0,67	9.902.045	0,67	14.779
2014		4.855	7.277.588	0,67	9.801.730	0,67	14.629
2015		5.218	7.821.687	0,67	9.977.991	0,67	14.893
2016		5.520	8.273.521	0,67	10.196.614	0,67	15.219
2017		5.982	8.966.527	0,67	10.813.032	0,67	16.139
2018		6.294	9.434.825	0,67	10.904.123	0,67	16.275
2019		6.472	9.700.382	0,67	10.383.512	0,67	15.498
2020		6.671	9.999.466	0,67	9.976.842	0,67	14.891
2021		6.915	10.364.291	0,67	9.877.979	0,67	14.743
2022		7.146	10.711.324	0,67	9.957.815	0,67	14.862

Para el caso del dióxido de carbono, directamente no se tienen datos públicos de emisiones, por lo que es imposible extraer conclusiones (gráfica 68).



Gráfica 68. Comparativa Cantidad dióxido de carbono en Vertedero de Alicante - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

Como se puede observar en la tabla 48, no existen datos disponibles del PRTR de emisiones de CO₂ en el vertedero de Alicante.

Tabla 48. Comparativa Cantidad Dióxido de Carbono en Vertedero de Alicante - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

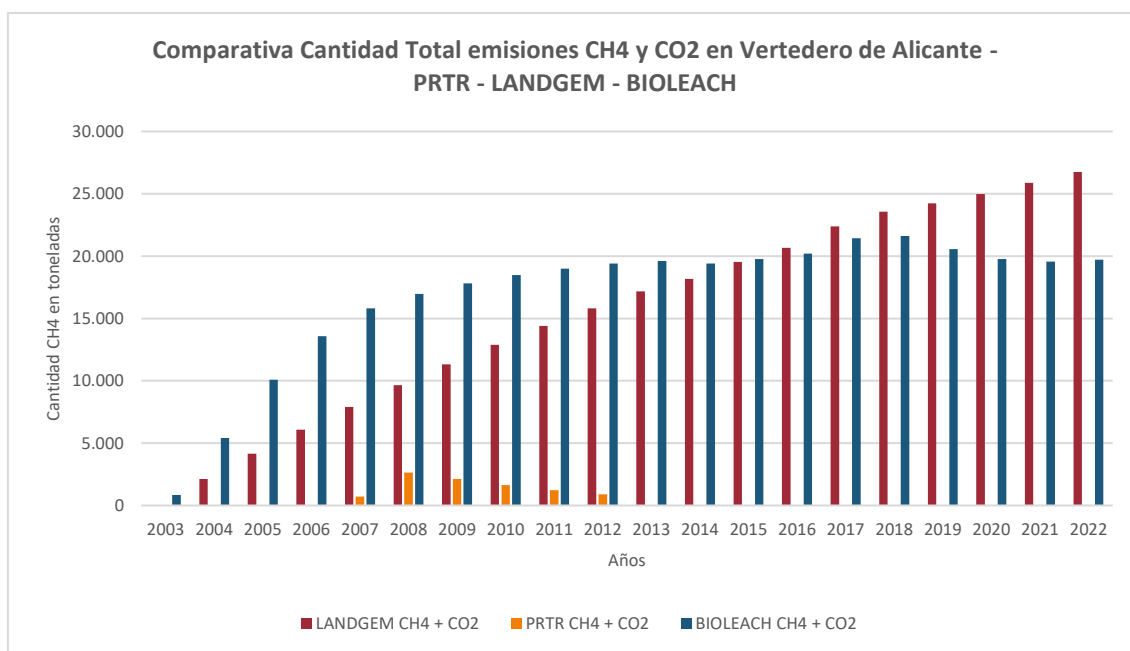
Vertedero de Alicante

Densidad CO₂ LANDGEM 1,83 Kg/m³

Densidad CO₂ BIOLEACH 1,83 Kg/m³

Año	Simulación en LandGEM			Simulación en Bioleach			
	PRTR (t/año)	LANDGEM (t/año)	LANDGEM (m ³ /año)	Densidad kg/m ³	BIOLEACH (m ³ /año)	Densidad kg/m ³	BIOLEACH (t/año)
2003		0	0		392.170	1,83	214
2004		1.561	852.505	1,83	2.483.226	1,83	1.357
2005		3.045	1.663.433	1,83	4.630.266	1,83	2.530
2006		4.457	2.434.812	1,83	6.219.622	1,83	3.399
2007		5.800	3.168.570	1,83	7.226.532	1,83	3.949
2008		7.078	3.866.542	1,83	7.729.702	1,83	4.224
2009		8.293	4.530.473	1,83	8.092.497	1,83	4.422
2010		9.449	5.162.025	1,83	8.381.248	1,83	4.580
2011		10.549	5.762.775	1,83	8.595.953	1,83	4.697
2012		11.595	6.334.226	1,83	8.773.755	1,83	4.794
2013		12.590	6.877.807	1,83	8.863.463	1,83	4.843
2014		13.322	7.277.588	1,83	8.760.909	1,83	4.787
2015		14.318	7.821.687	1,83	8.916.038	1,83	4.872
2016		15.145	8.273.521	1,83	9.113.300	1,83	4.980
2017		16.413	8.966.527	1,83	9.678.405	1,83	5.289
2018		17.270	9.434.825	1,83	9.762.728	1,83	5.335
2019		17.757	9.700.382	1,83	9.285.017	1,83	5.074
2020		18.304	9.999.466	1,83	8.911.425	1,83	4.870
2021		18.972	10.364.291	1,83	8.820.007	1,83	4.820
2022		19.607	10.711.324	1,83	8.894.814	1,83	4.861

Como conclusión, el Vertedero de Alicante carece de datos disponibles de emisiones de metano y de dióxido de carbono, por lo que la información no da a conocer la realidad de las emisiones a la atmósfera y es complicado extraer conclusiones con estos pocos datos. A pesar de ello se añade la gráfica comparativa de la suma de emisiones (gráfica 69), pero visto lo visto se puede intuir que las emisiones publicadas en el PRTR distan significativamente de las que los modelos matemáticos aproximan a la realidad.

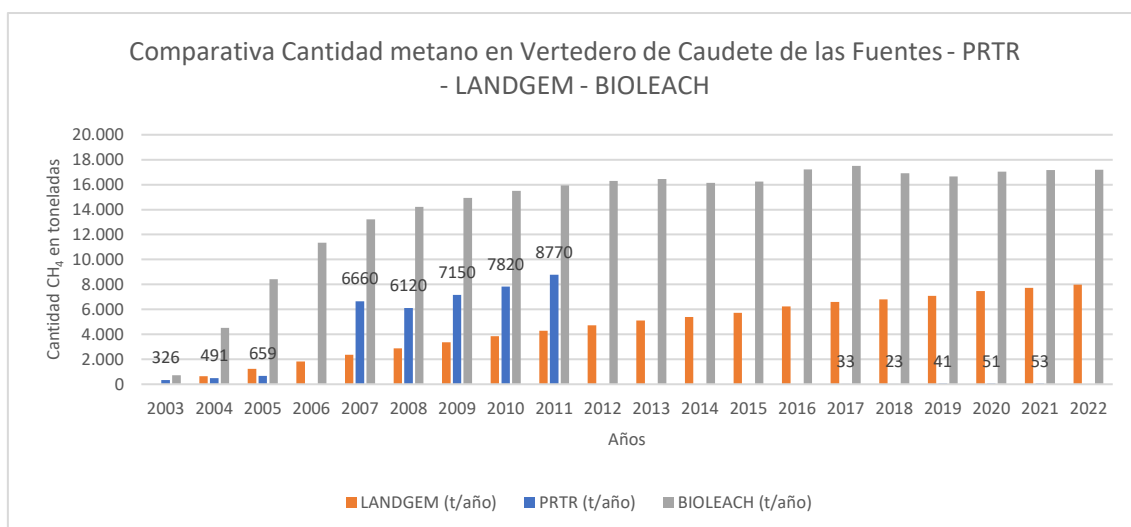


Gráfica 69. Comparativa Cantidad Total emisiones CH4 y CO2 en Vertedero de Alicante - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

8.9. Vertedero de Elche (Provincia de Alicante)

En este apartado, una vez analizadas las emisiones del Vertedero de Elche (Provincia de Valencia), se va a realizar la comparativa entre los valores de PRTR, los valores simulados en LandGEM y los de BIOLEACH tanto del metano como del dióxido de carbono por separado y de manera conjunta.

Como ya se ha observado en el apartado 6.9 hay una gran diferencia entre cantidades de emisiones en el PRTR, pero como se puede observar la siguiente gráfica comparativa, BIOLEACH ofrece emisiones mucho mayores que las del registro estatal debido a que las calcula con la humedad óptima y con recirculación de lixiviados, por lo tanto, serán mayores que en la realidad. Pero lo que está claro es que para los años 2017 a 2021, la diferencia entre PRTR-LandGEM-BIOLEACH es tan abismal que las emisiones publicadas en el PRTR no reflejan la realidad (gráfica 70).



Gráfica 70. Comparativa Cantidad metano en Vertedero de Caudete de las Fuentes - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

Como en el resto de los vertederos, en la tabla 49 se muestran todos los datos tomados para graficar la comparativa del Metano para el Vertedero de Elche.

Tabla 49. Comparativa Cantidad Metano en Vertedero de Caudete de las Fuentes - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

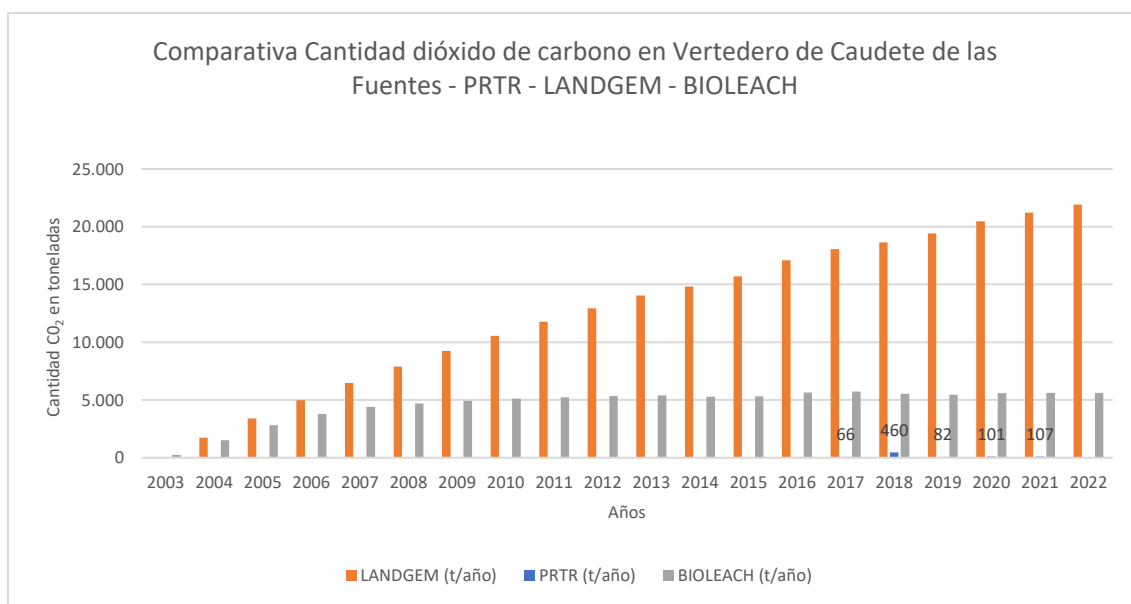
Vertedero de Elche

Metano

Densidad CH4 LANDGEM 0,67 Kg/m3
 Densidad CH4 BIOLEACH 0,67 Kg/m3

Año	Datos PRTR-E				Simulación en LandGEM			Simulación en BIOLEACH		
	PRTR (t/año)	LANDGEM (t/año)	LANDGEM (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (t/año)			
2003	326	0	0		476.808,67	0,67	712			
2004	491	634	950.549	0,67	3.020.868,75	0,67	4.509			
2005	659	1.237	1.854.739	0,67	5.644.412,60	0,67	8.424			
2006		1.811	2.714.831	0,67	7.603.240,66	0,67	11.348			
2007	6660	2.357	3.532.976	0,67	8.864.300,39	0,67	13.230			
2008	6120	2.876	4.311.220	0,67	9.520.980,44	0,67	14.210			
2009	7150	3.370	5.051.508	0,67	10.005.270,64	0,67	14.933			
2010	7820	3.840	5.755.692	0,67	10.390.719,64	0,67	15.509			
2011	8770	4.287	6.425.533	0,67	10.677.327,46	0,67	15.936			
2012		4.712	7.062.705	0,67	10.914.672,90	0,67	16.291			
2013		5.116	7.668.802	0,67	11.029.995,09	0,67	16.463			
2014		5.399	8.092.925	0,67	10.812.775,00	0,67	16.138			
2015		5.727	8.584.285	0,67	10.877.683,69	0,67	16.235			
2016		6.230	9.338.287	0,67	11.544.237,67	0,67	17.230			
2017	33	6.587	9.872.715	0,67	11.729.757,93	0,67	17.507			
2018	23	6.794	10.183.418	0,67	11.324.901,16	0,67	16.903			
2019	41	7.078	10.609.206	0,67	11.166.442,76	0,67	16.666			
2020	51	7.462	11.184.276	0,67	11.419.690,62	0,67	17.044			
2021	53	7.732	11.589.361	0,67	11.508.364,93	0,67	17.177			
2022		7.989	11.974.690	0,67	11.517.967,09	0,67	17.191			

Como ocurre con el metano, para el dióxido de carbono ocurre lo mismo, las emisiones públicas del PRTR son tan pequeñas en comparación con las de LandGEM y BIOLEACH que se no reflejan la realidad (gráfica 71 y tabla 50).



Gráfica 71. Comparativa Cantidad dióxido de carbono en Vertedero de Caudete de las Fuentes - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

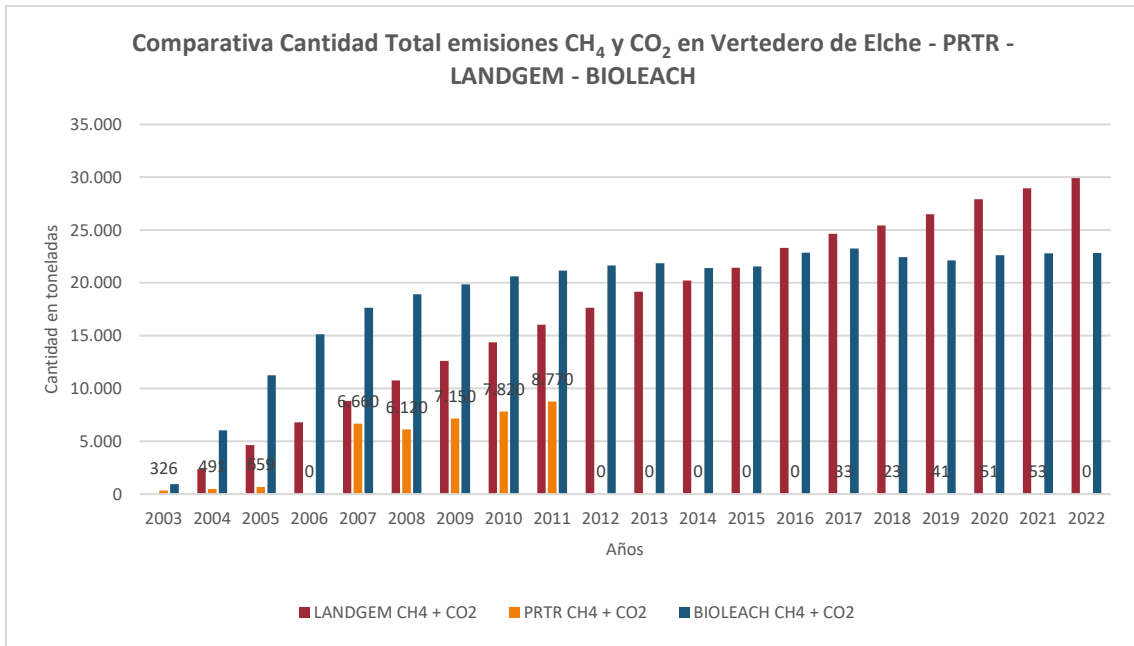
Tabla 50. Comparativa Cantidad Dióxido de Carbono en Vertedero de Caudete de las Fuentes - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

Vertedero de Elche

Densidad CO2 LANDGEM 1,83 Kg/m3
 Densidad CO2 BIOLEACH 1,83 Kg/m3

Año	Simulación en LandGEM			Simulación en Bioleach			
	Datos PRTR-E PRTR (t/año)	LANDGEM (t/año)	LANDGEM (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (m3/año)	Densidad kg/m3	BIOLEACH (t/año)
2003		0	0		437.271,94	1,83	239
2004		1.740	950.549	1,83	2.768.814,12	1,83	1.513
2005		3.395	1.854.739	1,83	5.162.778,03	1,83	2.821
2006		4.969	2.714.831	1,83	6.934.920,06	1,83	3.790
2007		6.467	3.532.976	1,83	8.057.632,04	1,83	4.403
2008		7.892	4.311.220	1,83	8.618.670,37	1,83	4.710
2009		9.247	5.051.508	1,83	9.023.189,14	1,83	4.931
2010		10.536	5.755.692	1,83	9.345.147,67	1,83	5.107
2011		11.762	6.425.533	1,83	9.584.545,95	1,83	5.237
2012		12.928	7.062.705	1,83	9.782.796,27	1,83	5.346
2013		14.038	7.668.802	1,83	9.872.869,03	1,83	5.395
2014		14.814	8.092.925	1,83	9.661.920,13	1,83	5.280
2015		15.714	8.584.285	1,83	9.714.520,62	1,83	5.308
2016		17.094	9.338.287	1,83	10.322.988,88	1,83	5.641
2017	66	18.072	9.872.715	1,83	10.492.651,39	1,83	5.734
2018	460	18.641	10.183.418	1,83	10.123.327,41	1,83	5.532
2019	82	19.420	10.609.206	1,83	9.980.050,20	1,83	5.454
2020	101	20.473	11.184.276	1,83	10.212.623,73	1,83	5.581
2021	107	21.214	11.589.361	1,83	10.293.884,70	1,83	5.625
2022		21.920	11.974.690	1,83	10.302.882,01	1,83	5.630

En conclusión, tanto para el caso del Metano como para el Dióxido de Carbono, para el vertedero de Elche, las emisiones públicas tras la comparativa con el modelo LandGEM y BIOLEACH no reflejan en absoluto la realidad de emisiones a la atmósfera. A pesar de ello se añade la gráfica comparativa de la suma de emisiones, pero visto lo visto se puede intuir que las emisiones publicadas en el PRTR distan significativamente de las que los modelos matemáticos aproximan a la realidad (gráfica 72).



Gráfica 72. Comparativa Cantidad Total emisiones CH₄ y CO₂ en Vertedero de Elche - PRTR - LANDGEM - BIOLEACH.

9. CONCLUSIONES

Los vertederos de residuos sólidos urbanos son una importante fuente de emisiones de biogás, compuesto principalmente por metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂). Estas emisiones se generan debido a la descomposición anaeróbica de la materia orgánica presente en los residuos depositados. El metano es un gas de efecto invernadero mucho más potente que el dióxido de carbono, lo que contribuye al calentamiento global. Sin embargo, los vertederos también ofrecen una oportunidad para aprovechar el biogás como fuente de energía renovable. Mediante la captura y el aprovechamiento adecuado del biogás, es posible reducir las emisiones y generar electricidad, calor o combustible para diversos usos, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático.

La aplicación de modelos numéricos presentada en este Trabajo fin de Máster ha permitido realizar un análisis crítico de los datos oficiales de emisiones de gases efecto invernadero reportadas por los vertederos de RSU de la Comunitat valenciana.

Los resultados muestran que los indicadores de producción unitaria de CH₄ y CO₂ son realmente dispares entre los distintos vertederos. Esta discrepancia llama la atención debido a que los resultados deberían ser más similares, ya que las emisiones de CH₄ o de CO₂ divididas entre la cantidad de rechazo que se destina a vertedero debería ser similar en todos los vertederos. De este modo, una cantidad unitaria de residuo debería generar prácticamente la misma cantidad de biogás en un lugar u otro de la Comunitat Valenciana. Los resultados que se incluyen en las bases de datos oficiales no presentan este comportamiento.

Tras el análisis de las emisiones a la atmósfera ofrecidas por el Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes del Ministerio, se han observado una serie de incongruencias que han justificado la utilización de modelos matemáticos como son LandGEM y BIOLEACH.

Tras la simulación de emisiones con los modelos matemáticos LandGEM y BIOLEACH, se ha observado que los valores públicos de emisiones de metano y dióxido de carbono no reflejan la realidad para los vertederos de Xixona, Villena, Onda, Dos Aguas, Caudete de las Fuentes, Alicante y Elche. En cambio, solamente en los vertederos de Cervera del Maestre y Algimia de Alfara se observa una similitud en el orden de magnitud de las emisiones públicas con las simuladas.

En definitiva, de los nueve vertederos analizados en la Comunitat Valenciana, solamente en dos de ellos se asemejan las emisiones declaradas en el Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes con las simuladas en los modelos LandGEM y BIOLEACH.

Se puede concluir que existen incongruencias y falta de transparencia en los datos públicos respecto de las emisiones de biogás de los vertederos activos de RSU de la Comunitat Valenciana.

10. LÍNEAS DE FUTURA INVESTIGACIÓN

Tras la conclusión de esta Tesis fin de Máster se plantea la realización de las siguientes líneas de futura investigación:

- Realizar una investigación más profunda acerca de la calibración de los parámetros de los modelos numéricos utilizados.
- Realizar ensayos de caracterización de residuos específicos en cada vertedero.
- Obtener datos más precisos acerca de las cantidades de residuos realmente depositadas en cada vaso de vertido.
- Utilizar modelos numéricos distintos a los incluidos en este TFM para comparar los resultados.
- Disponer de medidas reales de producción de biogás, a partir de mediciones in situ, para validar los resultados obtenidos.

11. REFERENCIAS

- [1] O. W. Awe, Y. Zhao, A. Nzihou, D. P. Minh, and N. Lyczko, "A Review of Biogas Utilisation, Purification and Upgrading Technologies," *Waste and Biomass Valorization*, vol. 8, no. 2. Springer Science and Business Media B.V., pp. 267–283, Mar. 01, 2017. doi: 10.1007/s12649-016-9826-4.
- [2] Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, "Sistemas de tratamiento - Depósito en Vertedero," 2016. <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/Deposito-en-vertedero.aspx> (accessed Apr. 17, 2023).
- [3] M. Pinach Forcadell, "Diseño de vertederos de residuos sólidos urbanos: definición de los parámetros geotécnicos de cálculo de estabilidad de taludes. Aplicación al vertedero de Lorca (Murcia)," Sep. 2020, Accessed: Apr. 18, 2023. [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/handle/10251/150543>
- [4] Waga Energy, "Todo sobre el gas de vertedero - Waga Energy," 2020. <https://waga-energy.com/es/todo-sobre-el-gas-de-vertedero/> (accessed Feb. 17, 2023).
- [5] Santiago. Martín, *Producción y recuperación del biogás en vertederos controlados de residuos sólidos urbanos análisis de variables y modelización : memoria de tesis doctoral*. Universidad de Oviedo, Biblioteca Universitaria, 2008.
- [6] "Evolución histórica Residuos Sólidos Urbanos".
- [7] "Gestión de RSU II.1.-Orígenes de los Residuos Sólidos."

- [8] Secretaría de Estado de Medio Ambiente, “Plan estatal marco de gestión de residuos (PEMAR),” 2016.
- [9] Generalitat Valenciana, “Plan Integral Residuos Comunidad Valenciana,” 2011.
- [10] P. Suárez Romero, “Metodología para el dimensionamiento, gestión y control ambiental de vertederos de residuos sólidos urbanos - Trabajo final de máster,” Valencia, 2022.
- [11] M. E. Rodrigo Clavero, “Evolución conjunta de la producción de lixiviados y biogás en vertederos de RSU - Tesis doctoral,” Valencia, 2020.
- [12] E. A. SEPA, “Guidance on the management of landfill gas Landfill directive Lfd,” 2004. [Online]. Available: www.environment-agency.gov.uk
- [13] Y. Camargo and A. Vélez, “Emisiones de biogás producidas en rellenos sanitarios,” Colombia-Camargo, 2009.
- [14] “Metano - Wikipedia, la enciclopedia libre,” *Wikipedia - Metano*, 2020. <https://es.wikipedia.org/wiki/Metano> (accessed May 11, 2023).
- [15] “Dióxido de carbono - Wikipedia, la enciclopedia libre,” 2020. https://es.wikipedia.org/wiki/Di%C3%B3xido_de_carbono (accessed May 11, 2023).
- [16] U. Epa, O. of Research, A. Pollution Prevention, C. Division, and S. Thorneloe, “US EPA Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User’s Guide,” 2005.
- [17] A. Lecuona Ferrando, “Trabajo Fin de Máster,” 2019.
- [18] Jorge R. Alonso, “La importancia de las fibras vegetales en la salud humana,” 2000. <https://www.med-informatica.com/TERAPEUTICA-STAR/FibrasVegetales1.htm> (accessed Mar. 09, 2023).