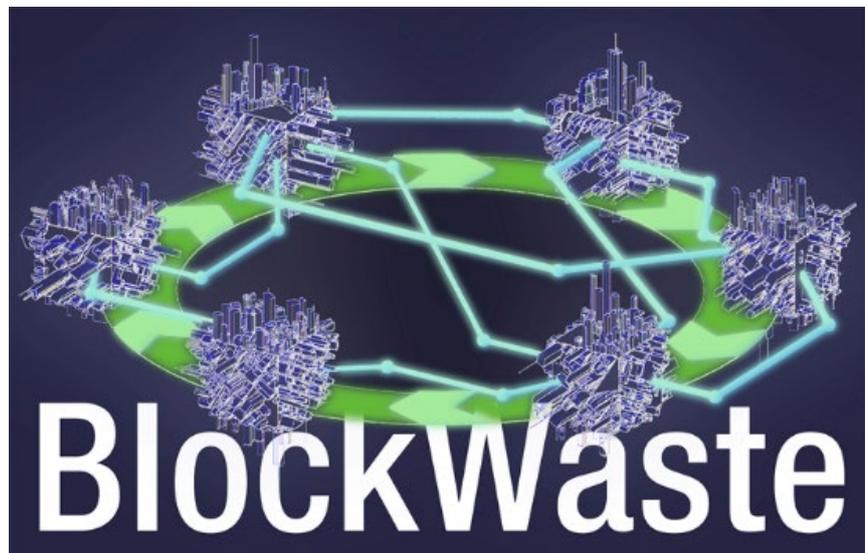


03.A3 Herramienta interactiva BlockWaste



Descargo de responsabilidad

This project has been funded with support from the European Commission. This publication reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Hoja informativa de salida:

Programa de financiación	Programa Erasmus+ de la Unión Europea
Financiación NA	EL01 Fundación de Becas Estatales Griegas (IKY)
Título completo del proyecto	Formación innovadora basada en la tecnología Blockchain aplicada a la gestión de residuos — BlockWaste
Campo	KA2 — Cooperación para la innovación y el intercambio de buenas prácticas KA203 — Asociaciones estratégicas para la educación superior
Número de proyecto	2020-1-EL01-KA203-079154
Duración del proyecto	24 meses
Fecha de inicio del proyecto	01-10-2020
Fecha de finalización del proyecto:	30-09-2022

Detalles de salida:

Título de salida: O3: Herramienta de aprendizaje electrónico basada en Blockchain-RSU centrada en la economía circular

Título de la tarea: A3 — Herramienta interactiva BlockWaste

Líder de salida: SAXION

Líder de la tarea: SAXION, TALTECH, NTUA, CTM

Autor(es): Dimitris Damigos, Universidad Técnica Nacional de Atenas, damigos@metal.ntua.gr, Grecia, George Panagiotopoulos, Universidad Técnica Nacional de Atenas, g.panag@metal.ntua.gr, Grecia, Perry Smit, Saxion UAS, p.j.smit.01@saxion.nl, Países Bajos, Ermo Täks, Universidad Tecnológica de Tallin, Estonia, David Caparros Pérez, Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales, España

Revisado por: Maria Menegaki, Universidad Técnica Nacional de Atenas, menegaki@metal.ntua.gr, Grecia, Christa Barkel, Saxion UAS, c.barkel@saxion.nl, Países Bajos

Control de Documentos

Versión del documento	Versión	Enmienda
V0.1	30/05/2022	Versión final — 29/07/2022

Contenido

Resumen ejecutivo	iv
1 Introducción	1
1.1. Descripción del proyecto BlockWaste	1
1.2. Objetivos y enfoque metodológico.....	1
2 Módulo de blockchain	3
2.1. El modificado «Blockchain game!»	3
2.2. El simulador interactivo de Blockchain	5
2.2.1. Creación de una clave pública y privada	6
2.2.2. Jugando la herramienta como un solo jugador	9
2.2.3. Jugar con múltiples usuarios	12
3 La herramienta BlockWaste	14
3.1. Introducción al juego	14
3.2. Descripción detallada de los cálculos detrás del juego	14
3.2.1. Hogares.....	15
3.2.2. El Alcalde.....	16
3.2.3. Principales supuestos	19
3.2.4. Salidas de la herramienta	22
3.3. Descripción detallada de las funciones.....	29
3.3.1. Comenzando el juego	29
3.3.2. Hogares.....	29
3.3.3. El Alcalde.....	32
3.4. Instrucciones básicas sobre cómo jugar	35
3.4.1. Jugando el juego	35
3.4.2. Después de jugar el juego.....	35
4 Referencias	37

Lista de tablas

Mesa1. Relación entre el tiempo dedicado a la segregación de residuos y el porcentaje de residuos separados en diferentes contenedores	15
Mesa2. Hipótesis técnicas para el MBT aeróbico.....	20
Mesa3. Hipótesis técnicas para el MBT anaeróbico.....	20
Mesa4. Hipótesis técnicas para el BTF aeróbico	20
Mesa5. Hipótesis técnicas para el BTF anaeróbico	20
Mesa6. Hipótesis de costos	21
Mesa7. Hipótesis de ingresos.....	21
Mesa8. Composición y recogida de residuos por hogar	23
Mesa9. Entrada para la instalación aeróbica MBT	23
Mesa10. Salida de la instalación aeróbica MBT	24
Mesa11. Entrada y salida del BTF aeróbico.....	24
Mesa12. Entrada y salida del Mecanismo de Recuperación de Materiales.....	25
Mesa13. Coste de recogida de residuos mezclados y separados (EUR/kg)	25
Mesa14. Coste del tratamiento de residuos mezclados y separados (EUR/kg).....	26
Mesa15. Vertederos y costes totales de residuos mezclados y separados (EUR/kg)	26
Mesa16. Ingresos procedentes de residuos mixtos (EUR/kg)	27
Mesa17. Ingresos procedentes de residuos separados (EUR/kg)	27
Mesa18. Coste neto (EUR) por kg de residuos mezclados, separados y totales.....	28
Mesa19. Ingresos totales y costes netos (EUR/kg)	28

Lista de cifras

Figura1: El juego Blockchain carpeta Google Drive.....	3
Figura2: Vista del problema de Blockchain utilizado en el juego BlockWaste	4
Figura3: Vista del problema resuelto	4
Figura4: Resultado de un cambio en la entrada 3.....	5
La figura5. Captura de pantalla del Simulador de Blockchain deBitcoin.....	5
La figura6. Creación de una nueva billetera simulada	6
La figura7. Entrada para generar una nueva billetera.....	7
La figura8. Generación de la nueva cartera	7
La figura9. Generación de claves públicas y privadas	8
La figura10. Bloques simulados creados en Blockchain	9
La figura11. Pantalla de minería de bloques	10
La figura12. Activando la opción «Auto Minería»	10
La figura13. Mensaje que aparece cuando un bloque ha sido exitosamente miod	11
La figura14. Verificación de la recompensa de bloque	11
La figura15. Saldo de la billetera del usuario	11
La figura16. Creación de una nueva transacción.....	12
La figura17. La pantalla de «Nueva Transacción»	12
La figura18. Creación y firma de una transacción	12
La figura19. Envío de la transacción	13
Figura20: La pantalla de inicio del juego	29
La figura21. La ventana «Agregar datos»	30
Figura22: El problema simplificado de Blockchain.....	30

Figura23: Vista de un problema de Blockchain resuelto que permite la presentación de los datos.....	31
La figura24. La ventana de resultados (solo para las entradas del jugador).....	31
La figura25. La ventana de resultados (que muestra los resultados para todos los jugadores)	32
La figura26. La selección de la ventana del plan de gestión de RSU	32
La figura27. La ventana de información «básica» en la que se definen los cánones municipales	33
La figura28. La ventana ampliada de información financiera	34
La figura29. La ventana técnica y financiera detallada	35

Lista de abreviaturas

Abreviatura	Definición
RSU	Residuos sólidos urbanos
GRSU	Gestión de residuos sólidos urbanos
Pequeñas y medianas empresas	Pequeñas y medianas empresas
IT	Tecnología de la información
PIB	Producto Interno Bruto
OER	Recursos educativos abiertos

Resumen ejecutivo

En el contexto del proyecto, se ha desarrollado una herramienta interactiva («Interactive BlockWaste Tool»), que es libre de acceso y se implementa dentro del REA, desarrollada en el «IO4: BlockWaste Open Educational Resource (en inglés).

El objetivo de la herramienta es ofrecer a los usuarios varias claves para lograr la integración de RSU basado en Blockchain y ayudarlos a comprender toda la trazabilidad y visibilidad de los residuos sólidos municipales desde el principio hasta el final de su gestión. Con la «Herramienta Interactiva BlockWaste» (<https://game.blockwasteproject.eu/>), el usuario podrá visualizar cómo funciona el cifrado de información de una Blockchain en un entorno de juego de roles, explotando, siempre que sea necesario, la información recopilada dentro de la base de datos de residuos (es decir, “O3/A1. Producción de la base de datos para la herramienta E-Learning”) que se ha creado.

Aunque el formulario de solicitud preveía inicialmente una herramienta interactiva (es decir, la «Herramienta interactiva de residuos por bloques»), se decidió desarrollar dos módulos diferentes para atender mejor las necesidades educativas de los grupos destinatarios y los usuarios finales identificados por el proyecto BlockWaste. Más específicamente, el primer módulo (módulo Blockchain) tenía como objetivo visualizar cómo funciona el cifrado de información de una Blockchain y está dirigido a usuarios que no están familiarizados con la tecnología Blockchain. El segundo módulo (inicialmente llamado «Herramienta de gestión de RSU») se centró solo en la gestión de RSU utilizando un juego de rol interactivo.

El objetivo de este manual es explicar cuál es el propósito de los juegos, cuál es la entrada que necesitan los usuarios y cómo funcionan los juegos (es decir, detalles sobre los algoritmos detrás de los resultados).

1 Introducción

1.1. Descripción del proyecto BlockWaste

Este estudio comparativo forma parte del proyecto BlockWaste, que es un proyecto Erasmus Plus financiado por la UE. El proyecto tiene como objetivo abordar la interoperabilidad entre la gestión de residuos y la tecnología Blockchain y promover su tratamiento adecuado a través de la formación educativa, para que los datos recogidos se compartan dentro de un entorno seguro, donde no hay lugar para la incertidumbre y la desconfianza entre todas las partes involucradas en cadenas o ciclos de residuos.

Para ello, los objetivos del proyecto BlockWaste son los siguientes:

- Realizar investigaciones sobre los residuos sólidos generados en las ciudades y cómo se gestionan, de modo que se pueda crear una base de información de buenas prácticas que ayude a reintroducir los residuos en la cadena de valor, promoviendo la idea de Ciudades Circulares Inteligentes.
- Identificar los beneficios de la tecnología Blockchain dentro del proceso de gestión de residuos urbanos (RSU).
- Crear un plan de estudio que apoye la formación de docentes y profesionales de organizaciones y empresas del sector, en la superposición de los campos de Gestión de Residuos, Economía Circular y tecnología Blockchain.
- Desarrollar una herramienta interactiva basada en la tecnología Blockchain, que permitirá poner en práctica la gestión de los datos obtenidos a partir de residuos urbanos, visualizando así la forma en que se implementan los datos en la Blockchain y permitiendo a los usuarios evaluar diferentes formas de gestión.

Puede obtenerse más información en el sitio web del proyecto BlockWaste <https://blockwasteproject.eu>.

1.2. Objetivos y enfoque metodológico

En el contexto del proyecto, se ha desarrollado una herramienta interactiva («Interactive BlockWaste Tool»), que es libre de acceso y se implementa dentro del REA, desarrollada en el «IO4: BlockWaste Open Educational Resource (en inglés).

El objetivo de la herramienta E-learning es ofrecer a los usuarios varias claves para lograr la integración de RSU basado en Blockchain y ayudarlos a comprender toda la trazabilidad y visibilidad de los residuos sólidos municipales desde el principio hasta el final de su gestión. Con la «Herramienta Interactiva BlockWaste», el usuario podrá visualizar cómo funciona el cifrado de información de una Blockchain en un entorno de juego de roles, explotando, siempre que sea necesario, la información recopilada dentro de la base de datos de residuos (es decir, “O3/A1. Producción de la base de datos para la herramienta E-Learning”) que se ha creado.

Aunque el formulario de solicitud preveía inicialmente una herramienta interactiva (es decir, la «Herramienta interactiva de residuos por bloques»), se decidió desarrollar dos módulos diferentes para atender mejor las necesidades educativas de los grupos destinatarios y los usuarios finales identificados por el proyecto BlockWaste. Más específicamente, el primer módulo (módulo Blockchain) tenía como objetivo visualizar cómo funciona el cifrado de

información de una Blockchain y está dirigido a usuarios que no están familiarizados con la tecnología Blockchain. El segundo módulo (inicialmente llamado «Herramienta de gestión de RSU») se centró solo en la gestión de RSU utilizando un juego de rol interactivo.

Las dos primeras escuelas piloto de Alemania y Grecia utilizaron estos dos módulos. Aunque la opinión general de los participantes sobre las herramientas de capacitación fue muy positiva, algunos comentarios mencionaron que el papel de Blockchain en el sistema de gestión de residuos no era muy claro. Teniendo en cuenta los resultados de las escuelas piloto, se desarrolló una nueva versión de la herramienta BlockWaste. Se decidió mantener el «módulo Blockchain» por separado e independiente de la «Herramienta de GestiónRSU», pero este último (es decir, la «Herramienta de Gestión RSU») incorporó un breve juego Blockchain, como se explicó con más detalle más adelante. La versión actualizada de la «Herramienta de Gestión RSU» se llama «Herramienta Interactiva BlockWaste». En la tercera escuela piloto (es decir, en Estonia), se probó la nueva versión de la «herramienta interactiva BlockWaste».

En resumen, con el fin de dejar más claro para los usuarios cómo funciona Blockchain, el «módulo Blockchain» incluye una versión modificada de «The Blockchain Game!» (<https://medium.com/predict/how-to-teach-blockchain-with-the-blockchain-game-44360c542c81>) creado por J. Scott Christianson, profesor de enseñanza asociado en la Universidad de Missouri. Además, se proporciona un simulador de Blockchain interactivo, donde los usuarios juegan y simulan todos los pasos detrás de un Blockchain (<https://bitcoinsimulator.tk/>).

La versión final de la «herramienta Interactiva BlockWaste» se centra principalmente en la gestión de RSU utilizando un juego de rol interactivo, que se basa en dos rutas (papeles), es decir, el Alcalde (que se supone que está a cargo de la autoridad de gestión de RSU) y los hogares. Durante el juego, el grupo de «hogares», utilizando la información recopilada dentro de la base de datos RSU que se ha creado anteriormente (O3/O1), proporciona información sobre la cantidad y composición de RSU por mes (durante un año) y el tiempo dedicado a separar RSU en la fuente (esta última se traduce a un valor monetario, como se detalla en una sección posterior) que determina la tasa de reciclaje. El «alcalde» debe seleccionar una opción de tratamiento de RSU (existen cuatro alternativas diferentes) y, cada mes, debe definir las tasas municipales cobradas a cada hogar en función de la cantidad total de residuos, las cantidades de residuos separados y mixtos, los costes de recogida, tratamiento y eliminación y los ingresos potenciales de los materiales reciclables o la producción de electricidad a partir del biogás. Con el fin de demostrar la interfaz de gestión de residuos y Blockchain, se agregó un simple problema de Blockchain. El usuario debe resolver el problema primero (al igual que el problema es resuelto por los mineros de bitcoin en situaciones de la vida real) con el fin de enviar los datos de entrada a la autoridad municipal. Además, todos los usuarios pueden ver información anónima, que se registra en una Blockchain, sobre generación de residuos, cargas municipales, hábitos de segregación de residuos, etc. La «herramienta interactiva BlockWaste» está completamente libre de acceso y se implementa dentro del REA, desarrollado en el «IO4: BlockWaste Open Educational Resource (en inglés).

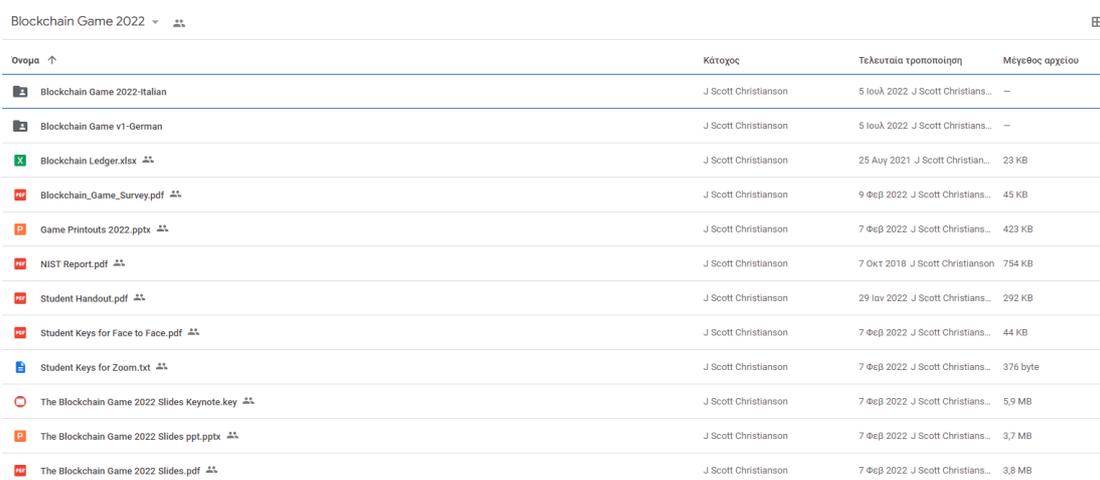
El objetivo de este manual es explicar cuál es el propósito de los juegos, cuál es la entrada que necesitan los usuarios y cómo funcionan los juegos (es decir, detalles sobre los algoritmos detrás de los resultados).

2 Módulo de blockchain

2.1. El modificado «Blockchain game!»

Para ayudar a los usuarios a entender la lógica detrás de Blockchain, «The Blockchain Game!» (<https://medium.com/predict/how-to-teach-blockchain-with-the-blockchain-game-44360c542c81>) creado por J. Scott Christianson, profesor de enseñanza asociado en la Universidad de Missouri, fue seleccionado después de una investigación exhaustiva de herramientas relacionadas.

«The Blockchain Game!» es un ejercicio práctico, que explica los principales principios de Blockchain utilizando como ejemplo un Blockchain para puntajes académicos (Christianson, 2019). El juego enseña conceptos de Blockchain como el libro mayor distribuido, el libro mayor transparente pero anónimo, el libro mayor inmutable, etc. Una de las principales ventajas de este juego específico es que los materiales para el juego Blockchain están disponibles bajo una licencia internacional Creative Commons Attribution-Non Commercial-Share Alike, por lo que es gratuito para cualquier persona para usar y alterar para sus propios fines (Christianson, 2019). Además, el creador proporciona directrices sobre cómo enseñar Blockchain con «The Blockchain Game!» (Christianson, 2022) y todos los archivos necesarios (incluyendo el juego en formato Excel, presentaciones del juego, folletos de los estudiantes, etc.) están disponibles a través de Google Drive (https://drive.google.com/drive/folders/1c7_zfwzZ_acsVN4n7tS_ItRUOpLN0vPd), como se muestra en Figura 1.



Όνομα	Κάτοχος	Τελευταία τροποποίηση	Μέγεθος αρχείου
Blockchain Game 2022-Italian	J Scott Christianson	5 Ιουλ 2022 J Scott Christians...	—
Blockchain Game v1-German	J Scott Christianson	5 Ιουλ 2022 J Scott Christians...	—
Blockchain Ledger.xlsx	J Scott Christianson	25 Αυγ 2021 J Scott Christian...	23 KB
Blockchain_Game_Survey.pdf	J Scott Christianson	9 Φεβ 2022 J Scott Christians...	45 KB
Game Printouts 2022.pptx	J Scott Christianson	7 Φεβ 2022 J Scott Christians...	423 KB
NIST Report.pdf	J Scott Christianson	7 Οκτ 2018 J Scott Christianson	754 KB
Student Handout.pdf	J Scott Christianson	29 Ιαν 2022 J Scott Christians...	292 KB
Student Keys for Face to Face.pdf	J Scott Christianson	7 Φεβ 2022 J Scott Christians...	44 KB
Student Keys for Zoom.txt	J Scott Christianson	7 Φεβ 2022 J Scott Christians...	376 byte
The Blockchain Game 2022 Slides Keynote.key	J Scott Christianson	7 Φεβ 2022 J Scott Christians...	5,9 MB
The Blockchain Game 2022 Slides ppt.pptx	J Scott Christianson	7 Φεβ 2022 J Scott Christians...	3,7 MB
The Blockchain Game 2022 Slides.pdf	J Scott Christianson	7 Φεβ 2022 J Scott Christians...	3,8 MB

Figura1: El juego Blockchain carpeta Google Drive

A los efectos de BlockWaste, el archivo original de Excel fue alterado y el ejemplo utilizado está relacionado con la gestión de RSU. Específicamente, el problema implica que los hogares que viven en diferentes áreas de una ciudad (por ejemplo, rojo, azul, verde, etc.), tienen una clave de identificación pública (similar a la clave pública de Bitcoin) y producen diferentes cantidades de residuos (Figura 2).

Siguiendo la idea inicial del juego, el usuario debe resolver un hash, es decir, la función que cumple con las demandas encriptadas necesarias para resolver un cómputo Blockchain, de la siguiente manera:

$$\text{Hash} = \text{Nonce} + a + b + c - \text{Valor de los últimos 2 dígitos de Hash anterior}$$

donde: a = Valor de la primera letra del área

B = Valor de la primera letra de la Clave Pública del Hogar

C = Valor del residuo total

Nonce = valor entre 1 y 3 que debe ajustarse para calcular un hash que puede ser igualmente divisible por 3

Block	Area	Householder	Total waste	Nonce (1-3)	a	b	c	Last two digits from prev. Hash	Hash	Divid 3
									212	
1	Red	ad59dn	25	2	82	65	25	12	162	
2	Blue	Bd9efe	30	2	66	66	30	62	102	
3	Green	da603d	90							
4	Red	ad59dn	18							
5	Blue	Bd9efe	16							
6	Green	da603d	30							

Figura2: Vista del problema de Blockchain utilizado en el juego BlockWaste

Los valores de los parámetros a, b y c se recuperan de una tabla de búsqueda, que se incluye en el archivo Excel. Si el hash se resuelve correctamente, la última columna se vuelve verde (Figura3). Además, si el libro mayor es atacado (es decir, alguien cambia una entrada anterior), entonces la última columna se vuelve roja desde el punto de cambio y en adelante (Figura4).

Block	Area	Householder	Total waste	Nonce (1-3)	a	b	c	Last two digits from prev. Hash	Hash	Divid 3
									212	
1	Red	ad59dn	25	2	82	65	25	12	162	
2	Blue	Bd9efe	30	2	66	66	30	62	102	
3	Green	da603d	90	1	71	68	90	2	228	
4	Red	ad59dn	18	1	82	65	18	28	138	
5	Blue	Bd9efe	16	1	66	66	16	38	111	
6	Green	da603d	30	1	71	68	30	11	159	
7	Red	ad59dn	44	3	82	65	44	59	135	
8	Blue	Bd9efe	21	2	66	66	21	35	120	
9	Green	da603d	10	3	71	68	10	20	132	
10	Red	ad59dn	51	2	82	65	51	32	168	
11	Blue	Bd9efe	66	2	66	66	66	68	132	
12	Green	da603d	19	3	71	68	19	32	129	

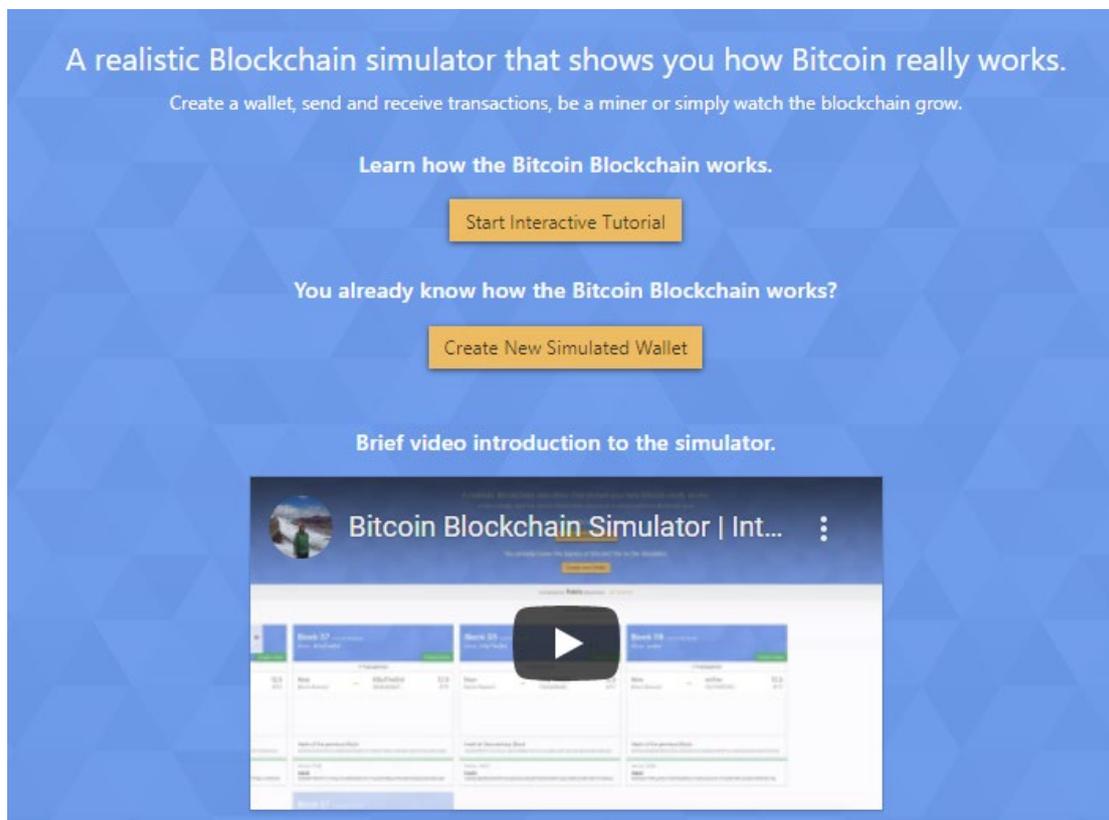
Figura3: Vista del problema resuelto

Block	Area	Householder	Total waste	Nonce (1-3)	a	b	c	Last two digits from prev. Hash	Hash	Divid 3
1	Red	ad59dn	25	2	82	65	25	12	162	212
2	Blue	Bd9efe	30	2	66	66	30	62	102	
3	Green	da603d	90	1	73	68	90	2	230	
4	Red	ad59dn	18	1	82	65	18	30	136	
5	Blue	Bd9efe	16	1	66	66	16	36	113	
6	Green	da603d	30	1	71	68	30	13	157	
7	Red	ad59dn	44	3	82	65	44	57	137	
8	Blue	Bd9efe	21	2	66	66	21	37	118	
9	Green	da603d	10	3	71	68	10	18	134	
10	Red	ad59dn	51	2	82	65	51	34	166	
11	Blue	Bd9efe	66	2	66	66	66	66	134	
12	Green	da603d	19	3	71	68	19	34	127	

Figura4: Resultado de un cambio en la entrada 3

2.2. El simulador interactivo de Blockchain

Como se escribió en la introducción, además de «The Blockchain Game!» se utiliza un simulador interactivo de Bitcoin Blockchain, que proporciona al usuario la experiencia de cómo funciona la práctica de Blockchain en segundo plano. El simulador Interactive Blockchain se puede encontrar en el siguiente sitio web: <https://www.bitcoinsimulator.tk/blockchain?chain=BlockWaste> (La figura5).



La figura5. Captura de pantalla del Simulador de Blockchain de Bitcoin

A los usuarios que no están familiarizados con Blockchain, se les recomienda comenzar con el tutorial interactivo en este sitio web. Cuando el usuario ha entendido la parte teórica puede continuar hasta la parte en la que aprende cómo funciona una práctica Blockchain en segundo plano. El usuario puede ver el video en la página web o seguir los pasos descritos a continuación para obtener una mejor comprensión de lo que sucede.

Lo que el usuario aprenderá a través de este juego es:

- Qué son las claves públicas y privadas y cómo se crea una identidad.
- Cómo un usuario puede usar esas claves para crear una transacción.
- Cómo se procesa una transacción en Blockchain, cómo va el proceso de validación y cómo funciona el proceso de minería.
- Cómo se procesa una transacción en Blockchain.

2.2.1. Creación de una clave pública y privada

Para empezar a jugar con el simulador Interactive Blockchain hay que crear una clave pública y privada. Puede hacer esto haciendo clic en Crear nueva billetera simulada (La figura6):



La figura6. Creación de una nueva billetera simulada

Después de hacer clic en el botón Generar una nueva cartera, aparecerá esta pantalla (La figura7):

Please note: This page is purely educational, it's only a simulation not real Bitcoin. Wallets in this simulation do not have any value!

Generate new Wallet

A random pair of keys (256 bit) will be generated. For simplicity, you can enter a unique username linked to your public key.

Username

Load existing Wallet

Enter your private key to retrieve an existing wallet.

Private Key

La figura7. Entrada para generar una nueva billetera

Al rellenar un nombre de usuario, aparecerá un botón azul «Generate new Wallet» (La figura8):

Please note: This page is purely educational, it's only a simulation not real Bitcoin. Wallets in this simulation do not have any value!

Generate new Wallet

A random pair of keys (256 bit) will be generated. For simplicity, you can enter a unique username linked to your public key.

Michae|

Username already taken.

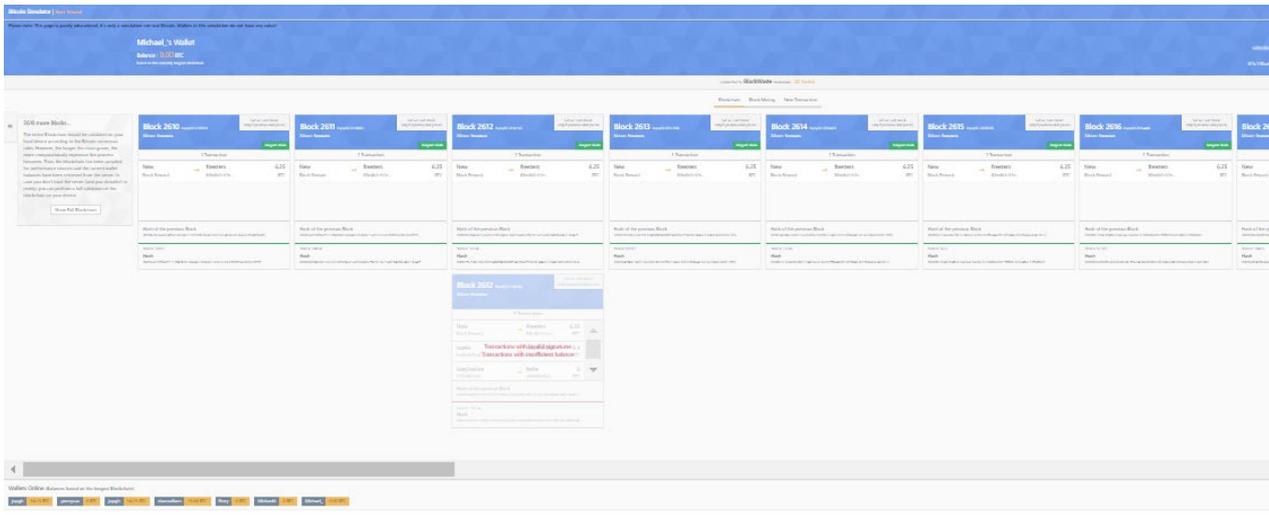
Generate new Wallet

La figura8. Generación de la nueva cartera

Finalmente, al hacer clic en el botón «Generar nueva billetera», se creará una clave pública y una privada (La figura9).

2.2.2. Jugando la herramienta como un solo jugador

El usuario puede copiar y pegar sus llaves y leer los pasos en la ventana. A continuación, el usuario puede hacer clic en el botón «Got it», justo debajo de la esquina. Aparece la siguiente pantalla (La figura10), que simula algunos bloques ya creados en una Blockchain. En este caso, estamos buscando una Blockchain pública en un modo de prueba. Las transacciones no tienen valor real.



La figura10. Bloques simulados creados en Blockchain

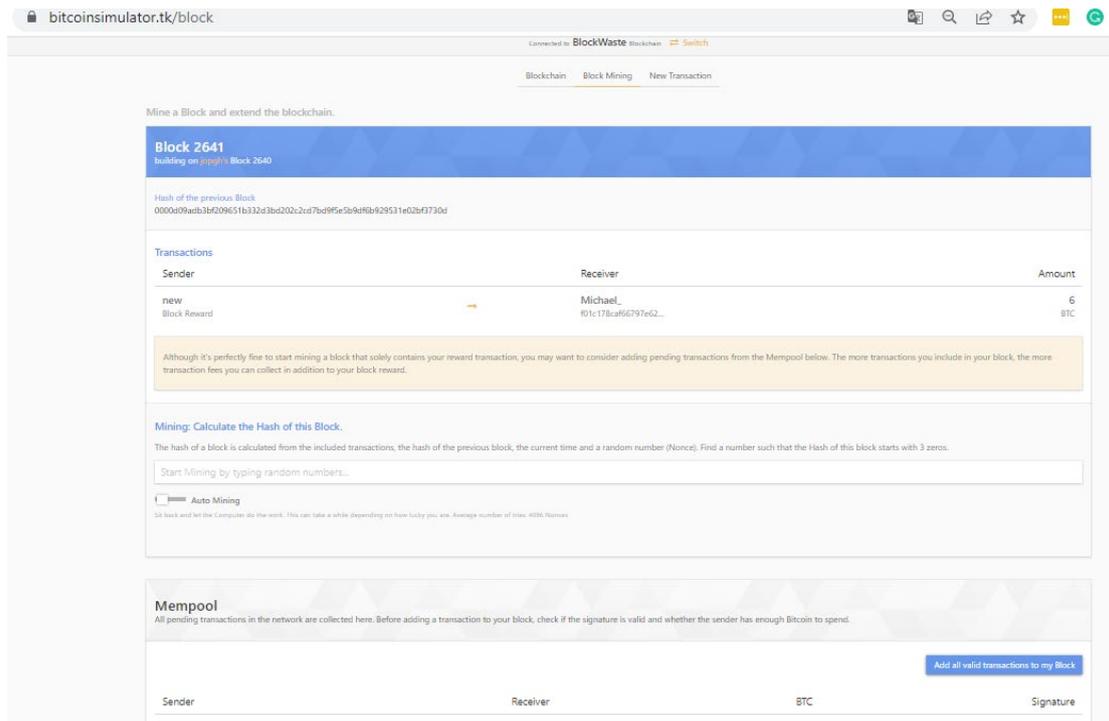
En la parte inferior de la pantalla, aparecen los nombres de usuario del usuario y de otras billeteras, que están activas en la Blockchain. Vamos a conseguir algunas monedas primero.

Cuando el usuario inicia el simulador por primera vez, el saldo de su billetera es cero. Para ganar bitcoins el usuario puede hacer dos cosas:

1. Pídale a otro usuario que envíe bitcoins.
2. Juega el papel de un minero y obtén algunas recompensas por la minería.

Echemos un vistazo al segundo camino y obtengamos algunas monedas por minería.

Al hacer clic en la pestaña «Bloquear minería» en el centro de la página, aparece la siguiente pantalla (La figura11):



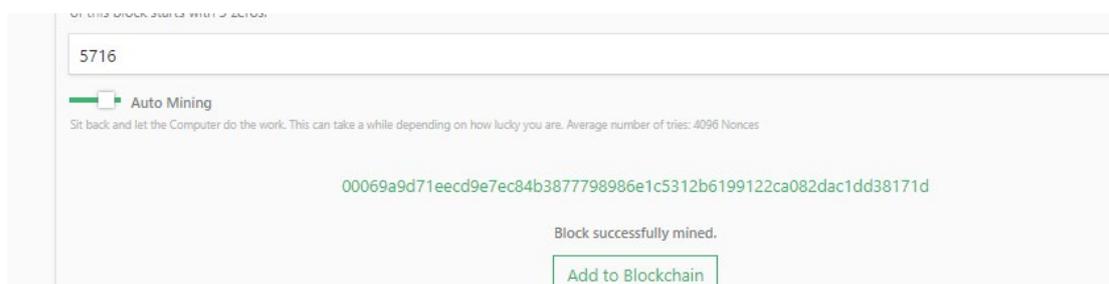
La figura11. Pantalla de minería de bloques

Para calcular el hash de un bloque, el usuario activará la opción «Auto Minería» y esperará un par de minutos (La figura12).



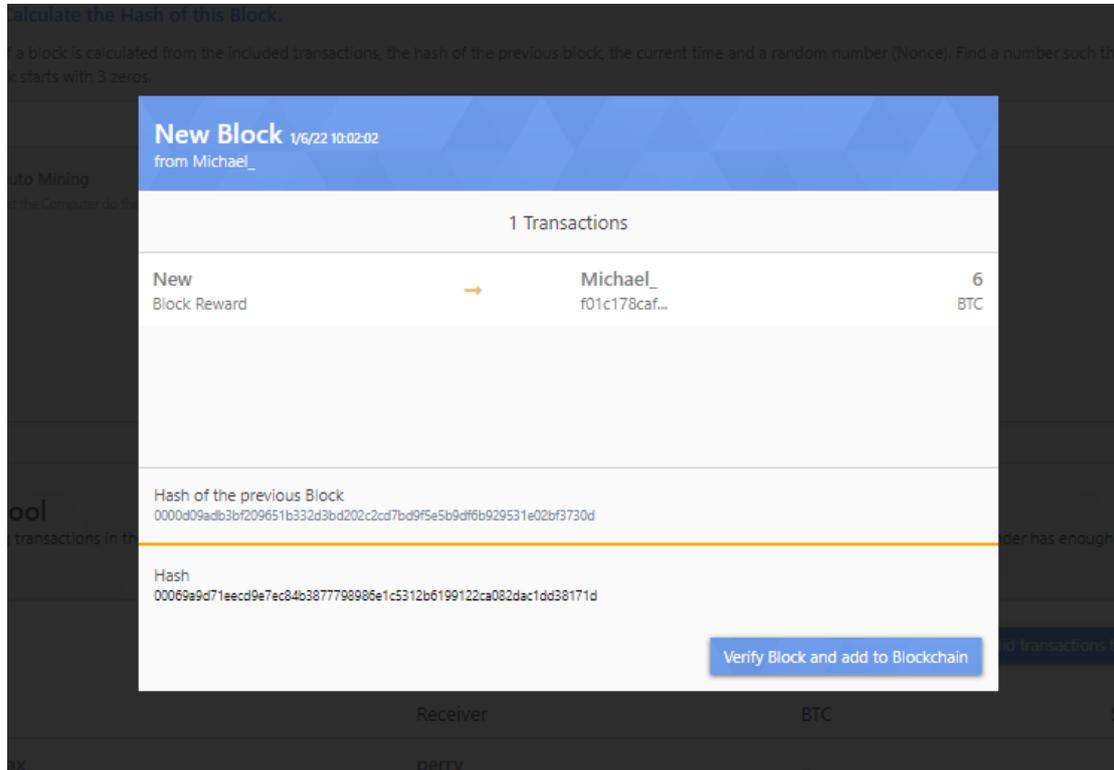
La figura12. Activando la opción «Auto Minería»

La minería comenzará a tratar de resolver un rompecabezas (en este caso, el minero tiene que encontrar un número que creará un hash a partir de 3 ceros). Cuando se resuelva el problema, aparecerá el siguiente mensaje (La figura13):



La figura13. Mensaje que aparece cuando un bloque ha sido exitosamente miod

Al hacer clic en el botón «Añadir a Blockchain», se mostrará una nueva ventana (La figura14) al usuario verificando el bloque y ofreciendo la opción de agregar la recompensa a su billetera.



La figura14. Verificación de la recompensa de bloque

Como se muestra enLa figura15, el nuevo saldo de la billetera del usuario es ahora 6.25 BTC.

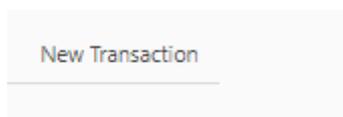


La figura15. Saldo de la billetera del usuario

Ahora que el usuario posee algunos bitcoins, puede enviar algunas monedas a un amigo.

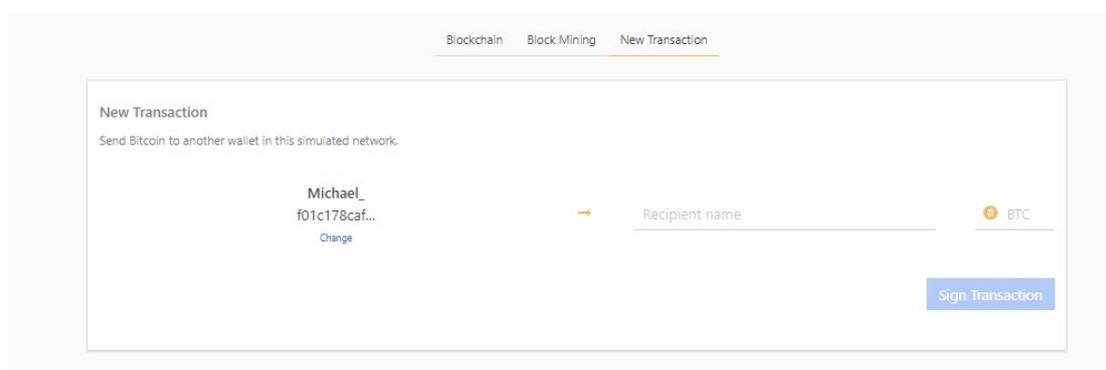
2.2.3. Jugar con múltiples usuarios

Para jugar el juego con varios usuarios, cada uno de los usuarios tiene que crear una cuenta única después del proceso mencionado anteriormente. Cuando se ha creado la cuenta, el usuario puede hacer clic en Nueva transacción (La figura16):



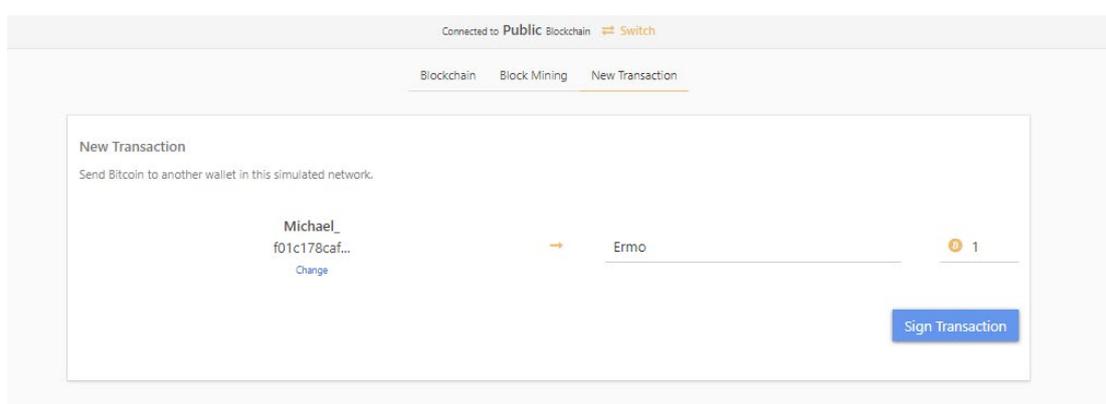
La figura16. Creación de una nueva transacción

En este caso, aparece la siguiente pantalla (La figura17):



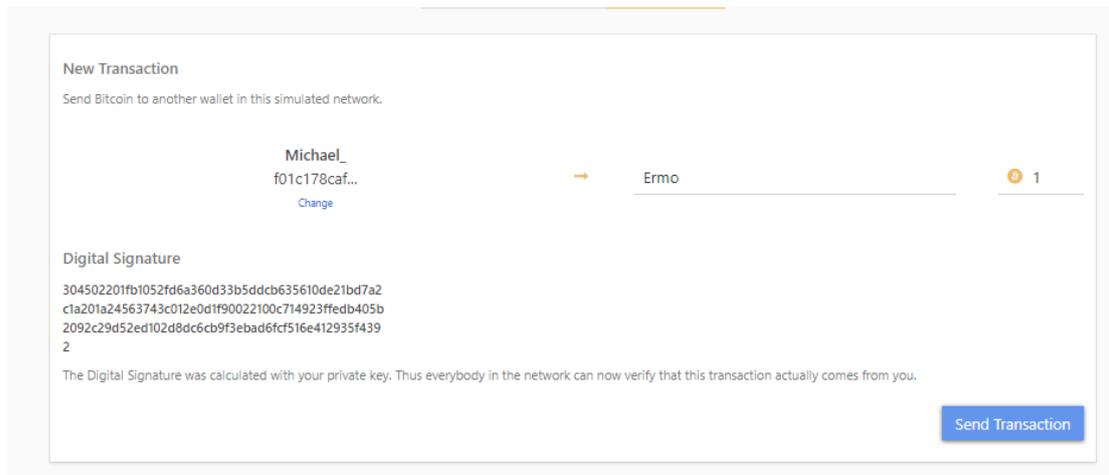
La figura17. La pantalla de «Nueva Transacción»

El usuario debe rellenar el nombre de usuario del destinatario y la cantidad de bitcoins que se enviarán y luego hacer clic en la «Transacción de firma» (La figura18).



La figura18. Creación y firma de una transacción

Después de firmar la transacción, aparece la siguiente pantalla (La figura19), y el usuario ahora puede enviar la transacción a la Blockchain.



La figura19. Envío de la transacción

Ahora, los usuarios pueden ir a la pestaña «Bloquear Minería» y validar la transacción mediante el uso de la «Auto Minería» de nuevo. Cuando se resuelva el bloqueo, el destinatario recibirá los bitcoins enviados.

3 La herramienta BlockWaste

3.1. Introducción al juego

Como ya se mencionó, la «Herramienta Interactiva BlockWaste» (<https://game.blockwasteproject.eu/>) es un juego de rol interactivo centrado en la gestión de RSU con la integración de un simple problema de Blockchain. El juego permite la interacción de un grupo de clase a través del uso de computadoras (pero también tabletas o incluso teléfonos inteligentes), y muestra en tiempo real el progreso a toda la clase.

El juego implica dos roles diferentes, es decir, el Alcalde (asumido como responsable de la autoridad de gestión de RSU) y los hogares. El grupo de clase se divide al principio del juego en estos dos grupos, pero el papel del alcalde se asigna solo a una persona. Durante el juego, los «hogares», utilizando la información recopilada dentro de la base de datos RSU que se ha creado (O3/O1), proporcionan información sobre la cantidad y composición de RSU por mes (durante un año) y el tiempo dedicado a separar RSU en la fuente (esta última se traduce a un valor monetario), lo que determina la tasa de reciclaje. El «Alcalde» selecciona una opción de tratamiento de RMS (hay cuatro alternativas diferentes) y, cada mes, define las tasas municipales cobradas a cada hogar en función de la cantidad total de residuos, las cantidades de residuos separados y mezclados, los costos de recogida, tratamiento y eliminación y los ingresos potenciales de los materiales reciclables o la producción de electricidad a partir de biogás.

El juego de roles ayuda a los estudiantes a alcanzar sus objetivos (por ejemplo, el alcalde puede querer minimizar la eliminación de desechos a los vertederos o los hogares pueden querer minimizar el costo de la gestión de los RMS). El juego permite la interacción de un grupo de clase a través del uso de computadoras (pero también tabletas o incluso teléfonos inteligentes), y muestra en tiempo real el progreso a toda la clase. La producción efectiva de la herramienta está garantizada por la presencia de caminos con diferentes sistemas de tratamiento de RMS y diferentes aspiraciones y objetivos entre los hogares y el municipio o entre los propios hogares. De esta manera, la herramienta tiene un impacto directo en la gestión de los RMS y en las malas prácticas que existen actualmente en lo que respecta a la exactitud de la información sobre los tipos, las cantidades y los destinos finales de los residuos de RMS.

Al final del juego, es decir, después de ejecutar el juego durante 12 períodos (es decir, meses), se puede crear un informe que detalla los caminos seguidos por los jugadores (es decir, el alcalde y los hogares), que incluye información sobre los tipos, cantidades y destinos finales de los residuos de RSU, la recolección, el tratamiento y los costos de eliminación de RSU, los ingresos del reciclaje y la utilización de residuos específicos, etc. De esta manera, el grupo de clase y el instructor pueden discutir las metas y objetivos estratégicos de los jugadores y el impacto que estas estrategias pueden tener en las prácticas de gestión de RSU.

3.2. Descripción detallada de los cálculos detrás del juego

Antes de discutir los roles y la entrada necesaria para el juego, es necesario demostrar en detalle los supuestos y cálculos básicos detrás de los resultados. Para facilitar a los instructores y a los jugadores del juego, los detalles se dan a continuación por separado para los dos roles.

3.2.1. Hogares

En lo que respecta a los hogares, el juego tiene en cuenta las siguientes variables:

- Miembros de HH
- Generación de RSU pc/año
- Generación de HH RSU/mes
- Composición de RSU:
 - Productos orgánicos
 - Papel
 - Plásticos
 - Metal
 - De vidrio
 - Otros
- Tiempo dedicado a la clasificación de residuos (entre 0 y 45 minutos por semana)
- Valor del tiempo (EUR/hora.mes)
- Porcentaje de residuos separados en diferentes contenedores
- Porcentaje de RMS mezclados (residuos mezclados, orgánicos y otros)
- Tasas municipales (EUR/mes)
- Coste total (EUR/mes)

Las variables miembros HH, generación de RSU pc/año, Composición de RSU y Tiempo gastado en la clasificación de residuos son definidas por el usuario. Específicamente, la generación de RSU pc/año y la composición de RSU pueden ser recuperadas por la base de datos RSU que se ha creado en O3/O1. La base de datos incluye datos sobre la generación y gestión de RMS en los países europeos, datos socioeconómicos, composición de RMS, precios de plásticos reciclados, vidrio y papel, etc.

El tiempo dedicado a la clasificación de residuos se basó en la suposición de que un hogar gasta entre 15 y 45 minutos por semana para reciclar (Nainggolan et al., 2019) y aquellos que clasifican sus residuos domésticos utilizan en promedio 30 minutos a la semana haciendo esto (Bruvoll et al., 2002). Sobre la base de estos hallazgos, se asumió que existe una relación entre el tiempo dedicado a la segregación de residuos a nivel de origen y el Porcentaje de residuos separados en diferentes contenedores, que se muestra en Mesa1.

Mesa1. Relación entre el tiempo dedicado a la segregación de residuos y el porcentaje de residuos separados en diferentes contenedores

Tiempo dedicado a la segregación de residuos (minutos por semana)	Porcentaje de residuos separados en diferentes contenedores
0-2	0 %
3-10	10 %
11-15	25 %
16-20	50 %
21-30	75 %
31-45	100 %

El Porcentaje de RSU mixtos se estima por el Porcentaje de residuos separados en diferentes contenedores, de la siguiente manera:

$$\text{Porcentaje de RMS mixtos} = 1 - \text{Porcentaje de residuos separados en diferentes contenedores}$$

El valor del tiempo dedicado a la clasificación de los residuos se basó en encuestas anteriores (Bartelings & Sterner, 1999; Bruvoll et al., 2000; Huhtala, 2010; Lee et al., 2017; Nainggolan et al., 2019). El valor del tiempo oscila significativamente entre 0,3 EUR por hora (Bruvoll et al., 2000) hasta 283,9 EUR por hora en función del número medio de horas dedicadas a la clasificación y los ingresos medios por hora después de impuestos (Bartelings & Sterner, 1999). A efectos del juego, se ha adoptado un valor de tiempo igual a 15 EUR por hora.

Los honorarios municipales son determinados por el Alcalde, como se explica más adelante en este manual, y se estima el costo total para el hogar, de la siguiente manera:

$$\text{Coste total} = \text{Valor del tiempo} + \text{Tarifas municipales}$$

3.2.2. El Alcalde

Existen cuatro sistemas alternativos de gestión de residuos como opciones para las autoridades municipales:

- S1. MBT aeróbico — Compost
- S2. Anaeróbico MBT — Compost
- S3. Anaeróbico MBT — Anaeróbico
- S4. Biosecación MBT — Anaeróbico

Estas alternativas se discuten con más detalle a continuación.

S1. MBT aeróbico — Compost

Según S1, los residuos mezclados (es decir, orgánicos, papel, plástico, metal, vidrio y otros) se dirigen a una instalación de tratamiento biológico mecánico (MBT) con digestión aeróbica. La instalación produce como producción:

- Papel
- Plásticos
- Metal
- De vidrio
- Otros
- RDF
- Compost Like Output (CLO)

También hay pérdidas (humedad) y residuos que se eliminan a un vertedero.

Los productos orgánicos de los residuos separados se dirigen a una instalación aeróbica de tratamiento de biorresiduos, que produce Compost. Nuevamente hay pérdidas por la humedad. Papel, plástico, metal, vidrio y otros residuos se transfieren a una instalación de recuperación de materiales (MRF), que produce materiales reciclables limpios.

S2. MBT anaeróbico — Compost

Según S2, los residuos mixtos (es decir, orgánicos, papel, plástico, metal, vidrio y otros) se dirigen a una instalación de tratamiento biológico mecánico (MBT) con digestión anaeróbica. La instalación produce como producción:

- Papel
- Plásticos
- Metal
- De vidrio
- Otros
- RDF
- Compost Like Output (CLO)
- Electricidad procedente del biogás

También hay pérdidas (humedad) y residuos que se eliminan a un vertedero.

Los productos orgánicos de los residuos separados se dirigen a una instalación aeróbica de tratamiento de biorresiduos, que produce Compost. Nuevamente hay pérdidas por la humedad. Papel, plástico, metal, vidrio y otros residuos se transfieren a una instalación de recuperación de materiales (MRF), que produce materiales reciclables limpios.

S3. Anaeróbico MBT — Anaeróbico

Según S3, los residuos mezclados (es decir, orgánicos, papel, plástico, metal, vidrio y otros) se dirigen a una instalación de tratamiento biológico mecánico (MBT) con digestión anaeróbica. La instalación produce como producción:

- Papel
- Plásticos
- Metal
- De vidrio
- Otros
- RDF
- Compost Like Output (CLO)
- Electricidad procedente del biogás

También hay pérdidas (humedad) y residuos que se eliminan a un vertedero.

Los productos orgánicos de los residuos separados se dirigen a una instalación de tratamiento anaeróbico de biorresiduos, que produce electricidad a partir del biogás y Compost. Nuevamente hay pérdidas por la humedad. Papel, plástico, metal, vidrio y otros residuos se transfieren a una instalación de recuperación de materiales (MRF), que produce materiales reciclables limpios.

S4. Biosecación MBT — Anaeróbico

Según S4, los residuos mixtos (es decir, orgánicos, papel, plástico, metal, vidrio y otros) se dirigen a una instalación de tratamiento biológico mecánico de biosecación (MBT). La instalación produce como producción:

- FUR
- Metal
- De vidrio

También hay pérdidas (humedad) y residuos que se eliminan a un vertedero.

Los productos orgánicos de los residuos separados se dirigen a una instalación de tratamiento anaeróbico de biorresiduos (BTF), que produce electricidad a partir de biogás y compost. Nuevamente hay pérdidas por la humedad. Papel, plástico, metal, vidrio y otros residuos se transfieren a una instalación de recuperación de materiales (MRF), que produce materiales reciclables limpios.

En base a la entrada y salida de cada escenario alternativo de gestión de RSU, el Alcalde recibe información sobre:

- la cantidad total de RMS generado por cada hogar, la cantidad de RMS que fue separada por cada hogar y la cantidad de RMS que se eliminaron como residuos mixtos
- el coste total de recogida de RMS (para residuos separados, mixtos y totales)
- el coste total del tratamiento de RMS (para residuos separados, mixtos y totales)
- los ingresos totales de la venta de compost, materiales reciclados, electricidad, etc. (para residuos separados, mixtos y totales)
- el coste neto total (para residuos separados, mixtos y totales)
- el coste neto por kg (para residuos separados, mixtos y totales)
- el coste neto por hogar

Se supone que se conoce la cantidad total de RSU, así como las cantidades de RSU separados y mixtos generados por cada hogar (por ejemplo, introduciendo bolsas de basura personalizadas, utilizando camiones de recolección con equipo para pesar la basura, colocando contenedores de basura inteligentes con básculas para medir el peso y las etiquetas de identificación por radiofrecuencia (RFID) para identificar hogares, etc.).

Los gastos de recaudación se estiman de la siguiente manera:

*Coste de recogida de residuos mezclados (EUR) = Costo de recogida (EUR/ton) * Cantidad mixta de RMS (toneladas)*

*Coste de recogida de residuos separados (EUR) = coste de recogida (EUR/ton) * Cantidad de RMS separada (toneladas)*

*Coste de recogida de residuos totales (EUR) = coste de recogida (EUR/ton) * Cantidad total de RMS (toneladas)*

Del mismo modo, los costos del tratamiento se estiman, según el centro de tratamiento, de la siguiente manera:

*Coste del tratamiento de residuos mezclados (MBT aeróbico) (EUR) = Costo de tratamiento (EUR/ton) * Cantidad mixta de RMS (toneladas)*

*Coste del tratamiento de residuos mezclados (MBT anaeróbico) (EUR) = coste del tratamiento (EUR/ton) * Cantidad mixta de RMS (toneladas)*

*Coste del tratamiento de residuos orgánicos separados (BTF aeróbico) (EUR) = Costo de tratamiento (EUR/ton) * Residuos orgánicos separados (toneladas)*

*Coste del tratamiento de residuos orgánicos separados (BTF anaeróbico) = Costo de tratamiento (EUR/ton) * Residuos orgánicos separados (toneladas)*

*Coste del tratamiento de materiales separados, p. ej. plásticos, vidrio, etc. (MRF) (EUR) = Costo del tratamiento (EUR/ton) * Materiales separados (toneladas)*

Los ingresos se calculan multiplicando los «productos» de residuos (por ejemplo, electricidad, materiales reciclables, etc.) por el precio respectivo.

Los costes netos se calculan restando los ingresos de los costes, es decir:

Coste neto de los residuos mixtos (EUR) = Coste total de los residuos mezclados (EUR) — Ingresos por residuos mixtos (EUR)

Coste neto de los residuos separados (EUR) = coste total de los residuos separados (EUR) — Ingresos por residuos separados (EUR)

Coste neto de los residuos totales (EUR) = coste total de los residuos totales (EUR) — Ingresos por residuos totales (EUR)

El coste neto por kg de residuos viene dado por:

Coste neto de los residuos mezclados por kg (EUR/kg) = Costo neto de los residuos mezclados (EUR)/cantidad de residuos mixtos (kg)

Coste neto de los residuos separados por kg (EUR/kg) = coste neto de los residuos separados (EUR)/cantidad de residuos separados (kg)

Coste neto de los residuos totales por kg (EUR/kg) = Costo neto de los residuos totales (EUR)/cantidad total de RMS (kg)

Por último, el coste neto por hogar se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

*Coste neto por hogar (EUR) = Costo neto de residuos mezclados por kg (EUR/kg) * Cantidad mixta de RMS por hogar (kg) + Costo neto de residuos separados por kg (EUR/kg) * Cantidad de RMS separados por hogar (kg)*

En base a los resultados del costo neto por hogar, el Alcalde debe definir los honorarios municipales a cobrar a cada hogar. La política de tarifas del alcalde tiene grandes grados de libertad, siempre y cuando las tarifas totales cubran el costo neto total de la gestión de RSU (un ejemplo se da en una sección siguiente).

3.2.3. Principales supuestos

Para realizar los cálculos, se tuvieron en cuenta los siguientes supuestos técnicos y financieros. Los supuestos se basaron en datos recuperados por la literatura científica y gris (por ejemplo (Arcadis & Eunomia, 2010; Hogg, n.d.; Lasaridi et al., 2006; Seruga et al., 2020; Velis et al., 2010), así como los expertos en gestión de residuos que participan en el proyecto BlockWaste).

A. Suposiciones técnicas

Los supuestos técnicos están relacionados con la recuperación de materiales de la instalación MBT, los factores de conversión para la producción de biogás y electricidad a partir del tratamiento anaeróbico de productos orgánicos en MBT y BTF y la recuperación de materiales del plan MRF.

Los supuestos técnicos se presentan en los siguientes cuadros.

Mesa2. Hipótesis técnicas para el MBT aeróbico

Productos de MBT (aeróbico)	Factores de recuperación
Materiales reciclables	
— Papel (kg)	56 %
— Plásticos (kg)	59 %
— Metal (kg)	95 %
— Vidrio (kg)	90 %
— Los demás (kg)	50 %
CLO (kg) para la cubierta de vertederos o la restauración del suelo	52 %
RDF (kg) para la producción de energía	15 %
B) Pérdidas	20 %

Mesa3. Hipótesis técnicas para el MBT anaeróbico

Productos de MBT	Factores de recuperación
Materiales reciclables	
— Papel (kg)	56 %
— Plásticos (kg)	59 %
— Metal (kg)	95 %
— Vidrio (kg)	90 %
— Los demás (kg)	50 %
Biogás (m ³)	105 m ³ /ton
Electricidad (kWh)	150,4 kWh/ton
CLO (kg) para la cubierta de vertederos o la restauración del suelo	31 %
RDF (kg) para la producción de energía	15 %
Pérdidas (kg)	25 %

Mesa4. Hipótesis técnicas para el BTF aeróbico

Productos orgánicos de residuos separados	Factores de recuperación
Compost	55 %
B) Pérdidas	45 %

Mesa5. Hipótesis técnicas para el BTF anaeróbico

Productos orgánicos de residuos separados	Factores de recuperación
Biogás (m ³)	110 m ³ /ton
Electricidad (kWh)	240 kWh/ton
Compost	16 %

Por lo que se refiere al Mecanismo de Recuperación de Materiales (MRF), se asume un factor de recuperación del 100 % siempre que los materiales se recojan de diferentes contenedores.

B. Suposiciones financieras

Los supuestos financieros se refieren a los costes de RMS de recogida, tratamiento y depósito en vertederos, así como a los ingresos procedentes de la venta de electricidad, materiales reciclados, compost, SRF y CLO. Se supone que el RDF producido se utiliza para la producción de energía, pero su precio es prácticamente cero.

En los siguientes cuadros (Mesa6yMesa7) se presentan las hipótesis financieras utilizadas para los cálculos de la herramienta de gestión de los RMS.

Mesa6. Hipótesis de costos

Categoría de costos	Coste (EUR/tonelada)
Coste de recogida — residuos mixtos	60
Coste de recogida — materiales reciclables mixtos	140
Coste de recogida — productos orgánicos	80
Coste de recogida — papel	60
Costo de recogida — plásticos	350
Coste de recogida — metales	150
Coste de recogida — vidrio	60
Coste de recogida — otros materiales reciclables	100
Coste del vertido	100
Compostaje	65
Anaeróbico MBT	90
MBT aeróbico	70
Biosección MBT	80
Digestión anaeróbica	60
Clasificación de materiales reciclables mixtos	180
Tratamiento de residuos separados	50

Mesa7. Hipótesis de ingresos

Categoría de ingresos	Ingresos (EUR/tonelada y EUR/MWh para electricidad)
Electricidad (EUR/MWh)	129
Papel	100

Plásticos	250
Metal	212.5
De vidrio	40
Otros	20
Compost	20
FUR	25
CLO	1
RDF	0

Nota: RDF se utiliza para la producción de energía, pero su precio es 0

3.2.4. Salidas de la herramienta

La herramienta de gestión de RSU proporciona una amplia gama de resultados técnicos y financieros. Más concretamente, la herramienta analiza la entrada y la producción de todas las instalaciones de tratamiento, los costes de recogida, tratamiento y vertido (para RMS mixtos, separados y totales), los ingresos procedentes de diferentes flujos y productos de residuos y los costes netos (para los RMS mezclados, separados y totales) para las cantidades totales, por kg de residuos (para los RMS mixtos, separados y totales) y por hogar. Cabe señalar que, a efectos de cálculo, el análisis es realizado por el hogar. Sin embargo, la herramienta de gestión de RMS en línea solo presenta los resultados que estarían disponibles en un caso real (por ejemplo, cantidades totales de materiales, costes totales, costes por kg basados en los costes totales y cantidades totales de RMS, etc.). Para fines educativos, sin embargo, se proporciona un archivo Excel como material de apoyo, que detalla todos los cálculos y ofrece al instructor y al grupo de clase la oportunidad de experimentar con varios datos de entrada, así como de formular sus propios escenarios.

Las siguientes tablas presentan, a modo de ejemplo, la salida de S1. MBT aeróbico — Compost.

Mesa8. Composición y recogida de residuos por hogar

	Composición de residuos						Recogida de residuos		
	Productos orgánicos (kg)	Papel (kg)	Plásticos (kg)	Metal (kg)	Vidrio (kg)	Los demás (kg)	Residuos recogidos mezclados (kg)	Residuos recogidos separados (kg)	Total de residuos recogidos (Kg)
Hogares									
HH1	36.6	18.7	15.3	2.6	0.0	11.9	0.0	85.0	85.0
HH2	42.0	21.0	12.6	1.1	3.2	25.2	26.3	78.8	105.0
HH3	64.8	27.8	21.6	3.1	3.1	33.9	138.8	15.4	154.2
Totales	143.3	67.5	49.5	6.7	6.2	71.0	165.0	179.2	344.2

Mesa9. Entrada para la instalación aeróbica MBT

MBT (DIGESTIÓN AERÓBICA) — ENTRADA							
De residuos mezclados							
Hogares	Total de residuos (Kg)	Productos orgánicos (kg)	Papel (kg)	Plásticos (kg)	Metal (kg)	Vidrio (kg)	Los demás (kg)
HH1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HH2	26.3	10.5	5.3	3.2	0.3	0.8	6.3
HH3	138.8	58.3	25.0	19.4	2.8	2.8	30.5
Totales	165.0	68.8	30.2	22.6	3.0	3.6	36.8

Mesa10. Salida de la instalación aeróbica MBT

MBT (DIGESTIÓN AERÓBICA) — SALIDA									
De residuos mezclados									
	Papel (kg)	Plásticos (kg)	Metal (kg)	Vidrio (kg)	Los demás (kg)	CLO (kg)	RDF (kg)	Pérdidas (kg)	Residuos (kg)
Hogares									
HH1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HH2	2.9	1.9	0.2	0.7	3.2	5.5	2.4	2.1	7.4
HH3	14.0	11.5	2.6	2.5	15.3	30.3	12.1	11.7	38.9
Totales	16.9	13.3	2.9	3.2	18.4	35.8	14.4	13.8	46.3

Mesa11. Entrada y salida del BTF aeróbico

	INSTALACIÓN DE TRATAMIENTO DE BIORRESIDUOS (AERÓBICO) — INSUMOS	INSTALACIÓN DE TRATAMIENTO DE BIORRESIDUOS (AERÓBICO) — PRODUCCIÓN	
	De productos orgánicos separados		
Hogares	Productos orgánicos (kg)	Compost (kg)	Pérdidas (kg)
HH1	36.6	20.1	16.4
HH2	31.5	17.3	14.2
HH3	6.5	3.6	2.9
Totales	74.5	41.0	33.5

Mesa12. Entrada y salida del Mecanismo de Recuperación de Materiales

MRF (INSTALACIÓN DE RECUPERACIÓN DE MATERIALES)/INPUT=SALIDA					
De residuos separados					
	Papel (kg)	Plásticos (kg)	Metal (kg)	Vidrio (kg)	Los demás (kg)
Hogares					
HH1	18.7	15.3	2.6	0.0	11.9
HH2	15.8	9.5	0.8	2.4	18.9
HH3	2.8	2.2	0.3	0.3	3.4
Totales	37.2	26.9	3.6	2.7	34.2

Mesa13. Coste de recogida de residuos mezclados y separados (EUR/kg)

Costo de recogida							
Hogares	Residuos mixtos	Residuos separados					
		Productos orgánicos	Papel	Plásticos	Metal	De vidrio	Otros
HH1	0.0	2.9	1.1	5.4	0.4	0.0	1.2
HH2	1.6	2.5	0.9	3.3	0.1	0.1	1.9
HH3	8.3	0.5	0.2	0.8	0.0	0.0	0.3
Totales	9.9	6.0	2.2	9.4	0.5	0.2	3.4

Mesa14. Coste del tratamiento de residuos mezclados y separados (EUR/kg)

		Costo del tratamiento						
		Residuos separados						
Hogares	Residuos mixtos	Productos orgánicos	Papel	Plásticos	Metal	De vidrio	Otros	
	HH1	0.0	2.4	0.9	0.8	0.1	0.0	0.6
	HH2	1.8	2.0	0.8	0.5	0.0	0.1	0.9
	HH3	9.7	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2
	Totales	11.6	4.8	1.9	1.3	0.2	0.1	1.7

Mesa15. Vertederos y costes totales de residuos mezclados y separados (EUR/kg)

		Coste del vertedero	Costo total	Costo total	Costo total
			Residuos mixtos	Residuos separados	Total de residuos
Hogares	HH1	0.0	0.0	15.8	15.8
	HH2	0.7	4.2	13.3	17.5
	HH3	3.9	21.9	2.7	24.6
	Totales	4.6	26.1	31.8	57.9

Mesa16. Ingresos procedentes de residuos mixtos (EUR/kg)

Ingresos procedentes de							
Residuos mixtos							
Hogares	Papel	Plásticos	Metal	De vidrio	Otros	CLO	RDF
HH1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HH2	0.3	0.5	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0
HH3	1.4	2.9	0.6	0.1	0.3	0.0	0.0
Totales	1.7	3.3	0.6	0.1	0.4	0.0	0.0
Ingresos totales procedentes de residuos mixtos							6.2

Mesa17. Ingresos procedentes de residuos separados (EUR/kg)

Ingresos procedentes de						
Residuos separados						
Hogares	Compost	Papel	Plásticos	Metal	De vidrio	Otros
HH1	0.4	1.9	3.8	0.5	0.0	0.2
HH2	0.3	1.6	2.4	0.2	0.1	0.4
HH3	0.1	0.3	0.5	0.1	0.0	0.1
Totales	0.8	3.7	6.7	0.8	0.1	0.7

**Ingresos totales procedentes de
residuos separados 12.8**

Mesa18. Coste neto (EUR) por kg de residuos mezclados, separados y totales

Coste neto de los residuos mezclados por kg	Coste neto de los residuos separados por kg	Coste neto de los residuos totales por kg
0.121	0.106	0.113

Mesa19. Ingresos totales y costes netos (EUR/kg)

	Ingresos totales	Costo neto	Costo neto	Costo neto	Coste neto para el municipio
		Residuos mixtos	Residuos separados	Total de residuos	por hogar
Hogares					
HH1	6.9	0.0	8.9	8.9	9.0
HH2	5.8	3.2	8.4	11.7	11.5
HH3	6.3	16.7	1.7	18.3	18.4
Totales	19.0	19.9	19.0	38.9	38.9

3.3. Descripción detallada de las funciones

3.3.1. Comenzando el juego

El juego está disponible en <https://game.blockwasteproject.eu/>. Para proporcionar más flexibilidad, el juego incluye cinco tragamonedas diferentes, que permiten que cinco equipos diferentes jueguen simultáneamente. Para iniciar un juego, el jugador a quien se le asigna el papel del Alcalde debe ingresar primero en la tragamoneda gratuitas (Figura20). Después de eso, el resto de jugadores deben entrar en la misma ranura. El número total de jugadores que pueden actuar como «hogares» es de 30. Por lo tanto, antes de comenzar el juego, cada jugador debe ser asignado a un número único entre 1 y 30.

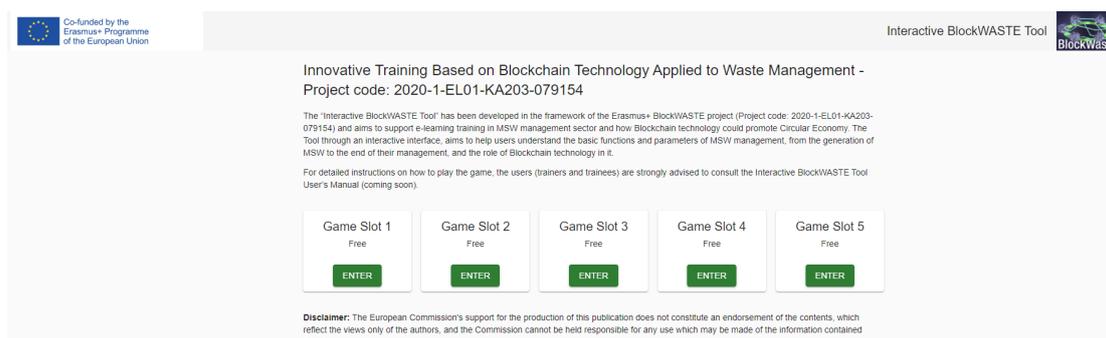


Figura20: La pantalla de inicio del juego

3.3.2. Hogares

Una vez que los jugadores 'hogares' entran en la ranura,

Después de iniciar sesión, el usuario hace clic en el botón «Añadir datos» y la ventana se expande (La figura21), lo que permite al jugador especificar la siguiente información:

- Miembros del hogar
- Generación de RMS per cápita y año
- Composición del RMS del hogar
- Tiempo dedicado a la clasificación de residuos (en minutos por semana)
- Mes del año

Después de introducir los datos, el usuario debe hacer clic en el botón «Enviar» para enviarlos. El juego siempre comienza con el primer mes del año (es decir, enero) desbloqueado. El mes siguiente se desbloquea automáticamente cuando el jugador recibe las cuotas municipales del mes anterior del alcalde.

Add data

Household members * 4 MSW generation * 420 pc/year

Organic: 39% Paper: 24% Plastic: 20% Metal: 4% Glass: 4% Other: 9%

Time spent on sorting waste (between 0-45) * 25 minutes per week Choose month * March

Submit

La figura21. La ventana «Agregar datos»

Sin embargo, para enviar los datos el usuario tiene que resolver un problema corto — y simplificado — Blockchain, es decir, para encontrar un nonce adecuado que calculará un hash que puede ser igualmente divisible por 3 (Figura22).

Balance: €0.00

Add data

Household members * 3 MSW generation * 440 pc/year

Organic: 37% Paper: 12% Plastic: 14% Metal: 6% Glass: 9% Other: 22%

Time spent on sorting waste (between 0-45) * 25 minutes per week Choose month * January

Submit

Block	Area	Householder	Total waste	Nonce (1-3)	a	b	c	Last two digits from prev. Hash	Hash	Solved
1	Green	Mj37gcj8e1vs	18	Nonce (1-3) *	71	77	18	2	168	✗
2	Green	P8zch630ye76	94	Nonce (1-3) *	71	80	94	68	313	✗
3	Red	Rz8mbde90lyo	2	Nonce (1-3) *	82	82	2	13	179	✗

Figura22: El problema simplificado de Blockchain

Cuando el problema se resuelve con éxito, el botón «Enviar» se vuelve verde y el usuario está listo para enviar los datos al 'Alcalde'.

Balance: €0.00

Add data

Household members * 3 MSW generation * 440 pc/year

Organic: 37% Paper: 12% Plastic: 14% Metal: 6% Glass: 9% Other: 22%

Time spent on sorting waste (between 0-45) * 25 minutes per week Choose month * January

Submit

Block	Area	Householder	Total waste	Nonce (1-3)	a	b	c	Last two digits from prev Hash	Hash	Solved
1	Green	Mj37gcj8e1vs	18	Nonce (1-3) * 3	71	77	18	2	171	✓
2	Green	P8zch630ye76	94	Nonce (1-3) * 2	71	80	94	71	318	✓
3	Red	Rz8mbde90lyo	2	Nonce (1-3) * 2	82	82	2	18	186	✓

Figura23: Vista de un problema de Blockchain resuelto que permite la presentación de los datos

Después de enviar los datos, el usuario recibirá los honorarios municipales (según lo definido por el alcalde) y se le presentará con su costo total (es decir, el valor del tiempo dedicado a la clasificación de los residuos más las tasas municipales).

A medida que avanza el juego, el usuario tiene la capacidad de monitorear los resultados de los meses anteriores para su hogar (La figura24) o para todos los hogares que participan en el juego (La figura25) (sin saber, sin embargo, la verdadera identidad de los demás jugadores u otros datos «sensibles», por ejemplo, el número de miembros del hogar, la generación de RSU per cápita, etc.).

Only show my entries

Month: All Household: All

Household	HH members	MSW generation pc/year	HH MSW generation/ month	Time spent on sorting waste (between 0-45 minutes per week)	Value of time (Euros/ hour.month)	Percentage of recyclables separated (different bins)	percentage of mixed MSW (mixed waste, organic and other)	Total cost (Euros/month)	Municipal fees (Euros/month)
January									
Me	2	410	68.33	35	15	100%	0%	21.5	6.5
February									
Me	2	410	68.33	40	15	100%	0%	21	6
Total				75	€30.00			€42.50	€12.50

La figura24. La ventana de resultados (solo para las entradas del jugador)

Only show my entries
 Month: All
Household: All

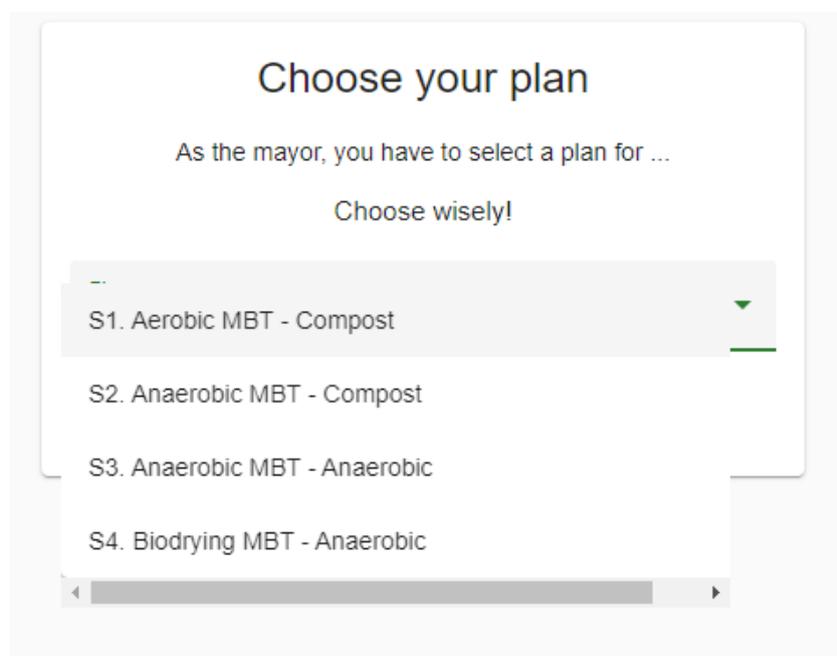
Household	HH members	MSW generation pc/year	HH MSW generation/ month	Time spent on sorting waste (between 0-45 minutes per week)	Value of time (Euros/ hour.month)	Percentage of recyclables separated (different bins)	percentage of mixed MSW (mixed waste, organic and other)	Total cost (Euros/month)	Municipal fees (Euros/month)
January									
Me	2	410	68.33	35	15	100%	0%	21.5	6.5
PK2	N/A	N/A	34.17	N/A	N/A	75%	25%	N/A	4
February									
Me	2	410	68.33	40	15	100%	0%	21	6
PK2	N/A	N/A	34.17	N/A	N/A	75%	25%	N/A	6
Total				75	€30.00			€42.50	€12.50

La figura25. La ventana de resultados (que muestra los resultados para todos los jugadores)

El juego termina al recibir las tarifas municipales para el último mes del año (es decir, diciembre).

3.3.3. El Alcalde

Después de entrar en la ranura, el usuario que está asignado con el rol de «Alcalde» tiene que elegir uno de los cuatro escenarios de gestión de RSU alternativos y luego hacer clic en «Proceder» (La figura26).



La figura26. La selección de la ventana del plan de gestión de RSU

A continuación, el usuario se dirige a una nueva ventana que muestra las entradas de los hogares participantes (La figura27). La información facilitada es la siguiente:

- Residuos mezclados, separados y totales recogidos (es decir, generados) por cada hogar y
- Coste neto del municipio por hogar

Cabe destacar que el «alcalde» antes de proceder al cálculo de las tasas debe esperar a que todos los hogares respondan.

Balance: -€11.31

Month: All Household: All

Household	Mixed collected waste (kg)	Separated collected waste (kg)	Total waste collected (Kg)	Net cost for municipality	Municipal fees (Euros/month)
January					
PK1	0	68.33	68.33	€6.63	Fee 6.5 € Save
PK2	8.543	25.628	34.17	€3.34	Fee 4 € Save
February					
PK1	0	68.33	68.33	€6.63	Fee 6 € Save
PK2	8.543	25.628	34.17	€3.34	Fee 6 € Save
March					
PK1	35	105	140	€13.85	Fee € Save
Total	52.085	292.915	345	€33.81	€22.50

La figura27. La ventana de información «básica» en la que se definen los cánones municipales

Sobre la base del coste neto del municipio por hogar, el «alcalde» seleccionará una tasa municipal adecuada. La única regla que debe seguirse es que el «Balance» para el Municipio no puede ser negativo (es decir, el usuario no puede crear un déficit financiero). Aparte de eso, el usuario es totalmente libre de seleccionar su propia estrategia. Por ejemplo, supongamos que el «alcalde» desea ofrecer un descuento del 10 % a los hogares que reciclan a una tasa del 100 %. El coste neto de los residuos totales por kg se calcula con arreglo a la siguiente ecuación:

$$\text{Coste neto de los residuos totales por kg (EUR/kg)} =$$

$$\text{Coste neto de los residuos totales (EUR)/cantidad total de RMS (kg)} =$$

$$[\text{Coste neto de residuos mezclados por kg (EUR/kg)} * \text{Total de RMS mezclados (kg)} + \text{Costo neto de residuos separados por kg (EUR/kg)} * \text{Total de RMS separados}]/\text{Total de RMS (kg)}$$

El «alcalde» conoce el coste neto total de los residuos mezclados por kg (EUR/kg), el coste neto total de los residuos separados por kg (EUR/kg) y el coste neto total de los residuos mezclados por kg (EUR/kg), así como las cantidades totales mixtas y separadas de residuos.

Supongamos que las cifras anteriores son, como sigue

- Coste neto de los residuos mezclados por kg (EUR/kg): 0.121
- Coste neto de los residuos separados por kg (EUR/kg): 0.106
- Coste neto de los residuos totales por kg (EUR/kg): 0.113
- Total de RSU mixtos (kg): 165
- Total de RMS separados (kg): 179.2
- RMS total (kg): 344.2

El descuento del 10 % dará lugar a una tasa municipal de residuos separados por kg (EUR/kg) igual a 0,095 (es decir, 90 % * 0,106). Para evitar el déficit financiero, el alcalde debe aumentar la tasa municipal por los residuos mezclados por kg para mantener constante el coste neto de los residuos totales por kg (es decir, 0,113 EUR/kg). La tasa municipal por los residuos mezclados por kg puede calcularse de la siguiente manera:

Coste neto de los residuos mezclados por kg (EUR/kg) =

*[Coste neto de residuos totales por kg (EUR/kg) * Total de RMS (kg) — Costo neto de residuos separados por kg (EUR/kg) * Total de RMS separados]/Total de RMS mezclado (kg)*

La sustitución del número del ejemplo da lugar a un coste neto para los residuos mezclados por kg (EUR/kg) igual a 0,132 EUR/kg (es decir, hay un aumento del 9,1 %).

Pulsando el botón «Informe», el «Alcalde» se presenta con más detalles financieros (La figura28).

Month	Collection cost		Treatment cost		Landfill cost			Total cost			Revenues			Net cost			Net cost / waste (kg)		
	Mixed	Separated	Mixed	Separated	cost	Mixed	Separated	Total	Mixed	Separated	Total	Mixed	Separated	Total	Mixed	Separated	Total		
January	€0.5	€11.6	€0.6	€5.3	€0.2	€1.3	€17.0	€18.3	€0.5	€7.8	€8.3	€0.9	€9.1	€10.0	0.1	0.097	0.097		
February	€0.5	€11.6	€0.6	€5.3	€0.2	€1.3	€17.0	€18.3	€0.5	€7.8	€8.3	€0.9	€9.1	€10.0	0.1	0.097	0.097		
March	€2.1	€14.0	€2.5	€5.9	€0.9	€5.4	€19.8	€25.3	€2.0	€9.5	€11.4	€3.5	€10.4	€13.9	0.1	0.099	0.099		
April	€0.0	€0.0	€0.0	€0.0	€0.0	€0.0	€0.0	€0.0	€0.0	€0.0	€0.0	€0.0	€0.0	€0.0	0	0	0		
May	€0.0	€0.0	€0.0	€0.0	€0.0	€0.0	€0.0	€0.0	€0.0	€0.0	€0.0	€0.0	€0.0	€0.0	0	0	0		

La figura28. La ventana ampliada de información financiera

Además, activando la opción «Mostrar datos MBT, Bioresiduos y MRF», el «Alcalde» recibirá datos adicionales sobre los flujos de materiales (entrada y salida) en las diferentes instalaciones de tratamiento (La figura29). Además, la herramienta ofrece la oportunidad de exportar los resultados detallados a un archivo csv para su posterior procesamiento.

Month		Household		Plan		Show MBT, Biowaste, and MRF data		Dashboard																																												
All		All		S1, Aerobic MBT - Com...																																																
MBT - INPUT (Mixed waste)													MBT - OUTPUT													BIOWASTE TREATMENT FACILITY - INPUT					BIOWASTE TREATMENT FACILITY - OUTPUT					MATERIALS RECOVERY FACILITY / INPUT=OUTPUT (Separated waste)					Collection cost		Treatment cost		Landfill cost		Total cost			Revenues		
Month	Total waste (mixed)	Organic (kg)	Paper (kg)	Plastic (kg)	Metal (kg)	Glass (kg)	Other (kg)	Paper (kg)	Plastic (kg)	Metal (kg)	Glass (kg)	Other (kg)	Electricity (kwh)	CLO (kg)	RDF (kg)	SRF (kg)	Losses (kg)	Residues (kg)	Organic (kg)	Compost (kg)	Electricity (kwh)	Losses (kg)	Paper (kg)	Plastic (kg)	Metal (kg)	Glass (kg)	Other (kg)	Mixed	Separated	Mixed	Separated	cost	Mixed	Separated	Total	Mixed	Separated	Total														
January	8.5	3.8	1.8	1.9	0.3	0.2	0.6	1.0	1.1	0.3	0.2	0.3	0.0	2.0	0.7	0.0	0.8	2.2	41.3	22.7	0.0	18.6	25.9	15.9	3.1	0.5	7.3	€0.5	€11.6	€0.6	€5.3	€0.2	€1.3	€17.0	€18.3	€0.5	€7.8	€8.3														
February	8.5	3.8	1.8	1.9	0.3	0.2	0.6	1.0	1.1	0.3	0.2	0.3	0.0	2.0	0.7	0.0	0.8	2.2	41.3	22.7	0.0	18.6	25.9	15.9	3.1	0.5	7.3	€0.5	€11.6	€0.6	€5.3	€0.2	€1.3	€17.0	€18.3	€0.5	€7.8	€8.3														
March	35.0	13.7	8.4	7.0	1.4	1.4	3.2	4.7	4.1	1.3	1.3	1.6	0.0	7.1	3.2	0.0	2.7	9.0	41.0	22.5	0.0	18.4	25.2	21.0	4.2	4.2	9.5	€2.1	€14.0	€2.5	€5.9	€0.9	€5.4	€19.8	€25.3	€2.0	€9.5	€11.4														
April	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0											
May	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0											
June	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0											
July	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0											
August	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0											
September	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0										
October	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0											
November	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0											
Total	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7	6.3	2.0	1.6	2.2	0.0	11.0	4.6	0.0	4.2	13.4	123.6	68.0	0.0	55.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	€3.1	€37.2	€3.6	€16.5	€1.3	€8.1	€53.7	€51.9	€2.9	€25.1	€28.0														

La figura29. La ventana técnica y financiera detallada

3.4. Instrucciones básicas sobre cómo jugar

3.4.1. Jugando el juego

El instructor primero debe proporcionar una breve descripción del escenario y luego asignar los roles a los jugadores (un alcalde y los hogares). Los jugadores pueden recibir instrucciones específicas sobre cómo actuar, o se les puede pedir que actúen en su propio interés. Es importante dejar claro que la contribución de todos es valiosa en el juego y que no hay juicio. Además, es importante definir un límite de tiempo (el juego puede durar de 15 minutos a 30 minutos, dependiendo de las habilidades que se practiquen) y el nivel de habilidades de los participantes. Sin embargo, si los objetivos de aprendizaje requieren cálculos, se puede requerir más tiempo. Finalmente, si el instructor percibe que los participantes están teniendo dificultades y se quedan atascados o la falta de atención del espectáculo, está bien detener el juego de roles y llamar a un tiempo fuera. Para iniciar el juego, el instructor distribuye a los jugadores, dependiendo de su rol, las cuentas que se han preconstruido.

3.4.2. Después de jugar el juego

Después del final del juego comienza una discusión. El instructor y los participantes pueden discutir el juego, por ejemplo, qué estrategia siguieron, qué fue efectivo desde el punto de vista del aprendizaje, etc. Para facilitar la discusión, el instructor también puede hacer algunas preguntas generales o específicas, como:

- ¿Cuáles eran sus preocupaciones con respecto a sus roles?
- ¿Cambiaron su estrategia a medida que avanzaba el juego en función de los resultados que recibieron?
- ¿Se vieron afectados por lo que otros hogares hicieron?

- ¿Cuál fue la cuestión más importante para ellos en la selección de una estrategia específica (por ejemplo, maximización de los beneficios ambientales, minimización de costos, etc.)?

También es útil proporcionar algunas observaciones finales al cierre de la sesión (por ejemplo, resumir nuevamente el objetivo del juego, presentar su punto de vista sobre el éxito del juego, etc.).

4 Referencias

- Arcadis & Eunomia. (2010). Assessment of the option to improve the management of bio-waste in the European Union. *European Commission Directorate-General Environment*, 11/004759(07), 1–237.
- Bartelings, H., & Sterner, T. (1999). Household Waste Management in a Swedish Municipality: Determinants of Waste Disposal, Recycling and Composting. *Environmental and Resource Economics*, 13(4), 473–491. <https://doi.org/10.1023/A:1008214417099>
- Bruvoll, A., Halvorsen, B., & Nyborg, K. (2000). Household sorting of waste at source. *Economic Survey*, 4, 26–35.
- Bruvoll, A., Halvorsen, B., & Nyborg, K. (2002). Households' recycling efforts. *Resources, Conservation and Recycling*, 36(4), 337–354. [https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(02\)00055-1](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(02)00055-1)
- Christianson, J. S. (2019, April 29). *The Blockchain Game: A great new tool for your classroom*. Blochain. <https://www.ibm.com/blogs/blockchain/2019/04/the-blockchain-game-a-great-new-tool-for-your-classroom/>
- Christianson, J. S. (2022, February 9). *How to Teach Blockchain with "The Blockchain Game!"* <https://medium.com/predict/how-to-teach-blockchain-with-the-blockchain-game-44360c542c81>
- Hogg, D. (n.d.). *Financing and incentive schemes for municipal waste management: Case studies, final report to Directorate General Environment, European Commission*. Eunomia Research & Consulting.
- Huhtala, A. (2010). Income effects and the inconvenience of private provision of public goods for bads: The case of recycling in Finland. *Ecological Economics*, 69(8), 1675–1681. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.03.018>
- Lasaridi, K. E., Rovolis, A., & Abeliotis, K. (2006). Waste management costs in Greece: Spatial patterns and causal factors. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 98. <https://doi.org/10.2495/EEIA060061>
- Lee, M., Choi, H., & Koo, Y. (2017). Inconvenience cost of waste disposal behavior in South Korea. *Ecological Economics*, 140, 58–65. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.04.031>
- Nainggolan, D., Pedersen, A. B., Smed, S., Zemo, K. H., Hasler, B., & Termansen, M. (2019). Consumers in a Circular Economy: Economic Analysis of Household Waste Sorting Behaviour. *Ecological Economics*, 166, 106402. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106402>
- Seruga, P., Krzywonos, M., Seruga, A., Niedźwiecki, Ł., Pawlak-Kruczek, H., & Urbanowska, A. (2020). Anaerobic Digestion Performance: Separate Collected vs. Mechanical Segregated Organic Fractions of Municipal Solid Waste as Feedstock. *Energies*, 13(15). <https://doi.org/10.3390/en13153768>
- Velis, C. A., Longhurst, P. J., Drew, G. H., Smith, R., & Pollard, S. J. T. (2010). Production and Quality Assurance of Solid Recovered Fuels Using Mechanical—Biological Treatment (MBT) of Waste: A Comprehensive Assessment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 40(12), 979–1105. <https://doi.org/10.1080/10643380802586980>