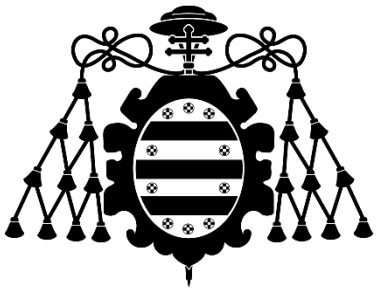

Universidad de Oviedo

ESCUELA SUPERIOR DE LA MARINA CIVIL DE GIJÓN

Trabajo Fin de Máster

ESTUDIO DE LAS SINERGIAS RESULTANTES DE LA OPERACIÓN DE UNA CENTRAL DE COGENERACIÓN DE BIOMASA CON SU ENTORNO EN LA PROVINCIA DE ALICANTE

Para acceder al Título de Máster Universitario en

TECNOLOGÍAS MARINAS Y DEL MANTENIMIENTO

Autor/a: Marcelino Llopis Pons

Tutor: Eliseo Pablo Vergara González

Mayo – 2021

ÍNDICE

RESUMEN 3

PALABRAS CLAVE 3

ABSTRACT 4

KEY WORDS 4

AGRADECIMIENTOS 5

1. INTRODUCCIÓN 6

1.1 Situación Actual 6

1.2 Objeto Del Trabajo 10

Planta híbrida termosolar con biomasa 11

La energía termosolar 13

Planta termosolar de torre central 14

La energía de la biomasa 14

El bitcoin y su minado 15

Refrigeración de la mina de Bitcoin 21

1.3 Necesidades a Satisfacer 23

1.4 Alcance Del Trabajo 27

2 ESTADO DEL ARTE 28

2.1 Biomasa 28

2.2 Incendios Forestales 28

2.3 Impacto Económico En La Provincia De Alicante 28

2.4 Planta Híbrida Termosolar - Biomasa 29

2.5 El Bitcoin Y Su Minado 29

2.6 La Refrigeración 30

2.7 Las Cenizas 30

2.8 Financiación Del Proyecto 30

3 METODOLOGÍA Y ANÁLISIS 31

3.1 Central De Referencia 31

3.2 El Proceso 33
3.3 Recolección De Los Restos Agrícolas Forestales, Residenciales O Urbanos 34
3.4 Almacenamiento De La Biomasa 35
3.5 Ciclo De Potencia 38
El grupo termosolar de torre central 38
El grupo de biomasa 39
Ciclo Brayton de CO_2 supercrítico 40
3.6 La Mina De Bitcoin 42
3.7 Las Cenizas 44
3.8 Financiación de la planta y la mina de Bitcoin 45
4 ANÁLISIS 50
4.1 Central Híbrida Termosolar-Biomasa Vendiendo La Electricidad A La Red Eléctrica En El Mercado Español 50
4.2 Central Híbrida Termosolar-Biomasa Utilizando La Electricidad Producida Para El Minado De Bitcoin 52
5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 60
6 CONCLUSIONES 64
7 TRABAJOS FUTUROS 65
8 BIBLIOGRAFÍA 66

RESUMEN

Estudio de las sinergías resultantes aportadas por la instalación y operación de una planta de cogeneración híbrida termosolar-biomasa de 50 MW de potencia, situada en la provincia de Alicante, usando la energía obtenida para el minado de Bitcoins.

La energía termosolar es aprechada mediante el empleo de heliostatos que concentran la radiación solar en un receptor ubicado en una torre central, y la energía contenida en la biomasa residual es transformada en energía termica aprovechable mediante la combustion en una caldera de lecho fluido. Combinando ambas tecnologías utilizando un ciclo de potencia Brayton de CO_2 supercrítico.

Este estudio tambíen abarca: el diseño, los costes, la eficiencia y el periodo de amortización de la instalación de minado de Bitcoins. Con el objetivo de conocer la capacidad que tiene una instalación de estas caracterisitcas, para reducir los incendios forestales y ser una fuente generadora de riqueza para su entorno.

Además se estudian los posibles usos del mayor residuo generado por las centrales de biomasa, las cenizas, para que la planta tenga el menor impacto medioa ambiental posible.

También se propone una forma de financiación, para que este trabajo se convierta en una realidad, y no es otra que la “tokenización” del proyecto.

PALABRAS CLAVE

Termosolar, Biomasa residual, Bitcoin, Cogeneración, Alicante

ABSTRACT

Study of the resulting synergies provided by the installation and operation of a 50 MW thermosolar-biomass hybrid cogeneration plant, located in the province of Alicante, using the power obtained for mining Bitcoins.

Solar thermal energy is harnessed using heliostats that concentrate solar radiation in a receiver located in a central tower, and the energy contained in the residual biomass is transformed into usable thermal energy through combustion in a fluid bed boiler. Combining both technologies using a supercritical CO2 Brayton power cycle.

This study also covers: the design, costs, efficiency, and payback period of the Bitcoins mining facility. With the aim of knowing the capacity of an installation of these characteristics, to reduce forest wildfires and be a source of wealth for its environment.

In addition, the possible uses of the largest waste generated by biomass plants, the ash, are studied so that the plant has the least possible environmental impact.

A form of financing is also proposed, so that this work becomes a reality, and it is none other than the tokenization of the project.

KEY WORDS

Thermosolar, Residual Biomass, Bitcoin, Cogenerationn, Alicante

AGRADECIMIENTOS

Para mi hija Inés

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Situación Actual

En la actualidad la mayoría de los restos de las podas agrícolas son quemados en las propias zonas de cultivo. Esto es debido fundamentalmente a que los agricultores no reciben nada a cambio por estos residuos, por lo tanto, retirarlos de los campos y transportarlos supone un coste adicional, que es prácticamente el único aprovechamiento que tienen estos restos, desperdiciándose toda la energía contenida en esta biomasa. (Rengifo, 2016)

Los restos de poda y demás restos agrícolas son considerados como biomasa sólida, ya que la definición de biomasa que se utiliza en las directivas de la Unión Europea es la siguiente:

> *"Biomasa es la fracción biodegradable de productos, desechos y residuos de la agricultura (incluyendo substancias vegetales y animales), silvicultura e industrias relacionadas, así como la fracción biodegradable de los residuos municipales e industriales".* (Cerdá, 2012)

Además, se considera que la combustión de biomasa es de carácter renovable, ya que su contenido energético procede en última instancia de la energía solar fijada por los vegetales en el proceso fotosintético. Energía que es liberada al romper los enlaces de los compuestos orgánicos en el proceso de combustión. (Fernández, 2003). En otras palabras, el carbono liberado a la atmosfera por la combustión de la biomasa es el mismo que esta biomasa ha absorbido a lo largo de su vida.

En la Tabla 1.1 se muestra los poderes caloríficos inferiores (PCI) de los diferentes tipos de biomasa sólida. Entendiendo como poder calorífico de un combustible a la cantidad de calor que se obtiene de la oxidación completa, a presión atmosférica de los componentes por unidad de masa de dicho combustible. (ATECYR, 2010)

Siendo el poder calorífico inferior (PCI), el calor que puede obtenerse en la combustión completa de la unidad de combustible, si en los productos de la combustión el agua está en forma de vapor. Una parte del calor generado en las oxidaciones se utiliza para evaporar el agua y por ello ese calor no se aprovecha. (ATECYR, 2010)

Tipo de combustible	PCI (kWh/kg)
Biomasa en general	3,933
Leña y ramas	4,419
Leñas tallares	2,908
Leñas de podas	2,908
Leñas de olivos y cultivos agrícolas	2,908
Serrines y virutas	4,396
Cortezas	4,245
Astilla de pino triturada (Humedad <20%)	4,196
Residuos de poda	4,361
Otros residuos forestales	3,850
Biomasa de la industria forestal	4,067
Biomasa agrícola	3,489
Sarmientos de vid	3,815
Ramilla de uva	3,431
Hueso de aceituna	4,489
Orujillo	4,396
Orujo de uva	3,768
Cáscara de frutos secos	4,315
Cáscara de cereales	3,663
Cáscara de almendra (Humedad <20%)	4,429
Paja de cereales	3,675
Zuro de maíz (Humedad <25%)	4,522
Otros residuos agrícolas	3,850
Poso de café	7,560

Marro de café	6,978
Residuo molienda de café	2,268
Pellets en general	4,582
Pellet de madera (Humedad <15%)	5,023
Carbón vegetal	8,891

Tabla 1.1 Poderes caloríficos inferiores de la biomasa. Fuentes: MITECO, EUROSTAT, IPCC E IDEA

De la Tabla 1.1, junto con las estimaciones de rendimiento de una central de biomasa del tamaño que se pretende proyectar que es del 31,85% (Ortiz, 2016), podemos deducir con la siguiente ecuación la cantidad de "energía eléctrica" contenida en la biomasa agrícola.

$$PCI(Biomasa\ agrícola\ por\ kg) \times \frac{\eta}{100} = Energía\ electrica\ en\ un\ kg\ de\ biomasa\ (kWh/kg)$$

$$3{,}489\ kWh/kg \times \frac{31.85}{100} = 1{,}11\ kWh/kg$$

Es decir, que por cada kilogramo de biomasa agrícola (3,489 kWh/kg) que se quema en los campos, se está desperdiciando 1,11kWh de electricidad. Poniendo estas cifras en contexto, con tan solo 158kg de biomasa agrícola sería suficiente para satisfacer el consumo eléctrico de todo un año de una lavadora (Samsung WW90J5355DW/ED), que consume al año según datos del fabricante 175kWh/año.

Más allá de la energía desaprovechada, tanto en el pasado como en la actualidad, el almacenamiento de estos residuos agrícolas y la quema de estos en los campos y huertas suponen un incremento sustancial en el riesgo de incendios forestales. De hecho, han sido la causa de muchos de ellos, tal y como se puede extraer del informe de los incendios forestales en España durante el decenio 2006-2015 (Ministerio de agricultura, pesca, y alimentación, 2019).

En la Tabla 1.2 se muestra el número de conatos e incendios causados de forma intencionada por la quema de residuos agrícolas y eliminación del matorral, así como, la superficie forestal destruida debido a estas causas, comparándola con el total de los incendios y superficie forestal destruida debido a incendios intencionados durante el periodo de 2006 al 2015.

Motivación Incendios intencionados	Núm. siniestros		Núm. Causantes	Vegetación Leñosa (ha)		Vegetación herbácea (ha)	Total forestal (ha)
	Conatos	Incendios	Identificados	Arbolada	No arbolada		
Provocados por campesinos para eliminar matorral y residuos agrícolas	13 448	6 193	419	24 786,55	63 690,44	6 394,00	94 870,99
TOTAL	41 192	27 905	1 372	170 350, 32	369 170,91	57 516,12	597 037,35

Tabla 1.2 Motivaciones incendios intencionados 2006-2015 (Ministerio de agricultura, pesca, y alimentación, 2019)

Durante ese mismo periodo, se produjeron incendios debido a negligencias o accidentes por la quema de los residuos de poda, ya bien sean éstos de origen agrícola o residencial (jardines), en las cantidades que se pueden apreciar en la siguiente Tabla 1.3.

Negligencias y causas accidentales	Núm. siniestros				Vegetación Leñosa (ha)		Veg. herbácea (ha)	Total forestal (ha)
	Cierta	Supuesta	Total	Causantes identif.	Arbolada	No arbolada		
Quema agrícola de restos de poda	1 655	608	2 263	1009	2 705,22	9 514,12	1 527,94	13 747,28
Quema de restos de poda o jardinería en zona residencial	85	46	131	34	158,86	48,41	241,02	448,29
TOTAL	20 953	15 856	36 809	11 658	11 658	101 175	46 818,37	283 370,13

Tabla 1.3 Incendios producidos por negligencias y causas accidentales 2006-2015 (Ministerio de agricultura, pesca, y alimentación, 2019)

Para poner estos datos en contexto, a continuación, en la Tabla 1.4 se muestran el número de incendios totales, así como los diferentes tipos de superficies afectadas, y el total de la masa forestal asolada por incendios forestales entre 2006 y 2015 en España.

	Núm. siniestros	Vegetación Leñosa (ha)		Veg. herbácea (ha)	Total forestal (ha)
		Arbolada	No arbolada		
TOTAL	131 113	320 277,13	573 912,78	113 772,34	1 007 962,25

Tabla 1.4 Número de incendios y superficie afectada 2006-2015 (Ministerio de agricultura, pesca, y alimentación, 2019)

Con los datos de las tablas anteriores, se extrae que 109 066,56 hectáreas de masa forestal fueron destruidas debido a la quema de residuos agrícolas y de jardines, ya bien fuese de forma intencionada, negligente o accidental. Suponiendo un 10,82% del total de la masa forestal asolada durante el periodo correspondiente entre 2006 y 2015.

Teniendo en cuenta que la media del coste de extinción por hectárea se sitúa en los 2 087€, (Faro de Vigo, 2017), la quema de estos residuos supuso un coste 227,6 millones de euros. Cifra a la que habría que añadir los daños económicos causados por los efectos de estos incendios, sin olvidarse de los costes más difíciles de cuantificar, como serían el impacto en la biodiversidad y el cultural.

1.2 Objeto Del Trabajo

Por lo tanto, ante la situación anteriormente descrita, se hace necesario conseguir reducir el número de incendios forestales, más aún cuando en España el 74% del territorio es susceptible a la desertificación por razones climáticas y de pérdida de biomasa (Sanjuán, 2014).

Para conseguir este ambicioso objetivo se propone el desarrollo de una central térmica de biomasa, que a su vez combine la energía del sol (termosolar). Una central innovadora ya no solo por el proceso de obtención de la energía eléctrica sino por el uso final de la electricidad obtenida. Con el objeto de convertirse en una fuente de riqueza añadida en su entorno, especialmente para agricultores e instituciones como ayuntamientos, pero incluso para todos aquellos que aporten sus residuos de biomasa a la central.

Este ambicioso objetivo requiere un aumento de la eficiencia del proceso, en otras palabras, extraer la mayor cantidad de energía con el menor consumo de biomasa posible, y una buena solución es la combinación de la biomasa con la energía termosolar (COT, et al., 2010), (Perteseim, et al., 2014).

Planta híbrida termosolar con biomasa

Para explicar el funcionamiento de una planta híbrida termosolar-biomasa, hay que entender los bloques que componen una central termosolar convencional que son los siguientes:

1. El campo solar
2. El bloque térmico
3. El bloque eléctrico
4. El balance de la planta y equipos auxiliares

Estos se encuentran dispuestos tal y como se aprecia en el esquema de la Imagen 1.1.

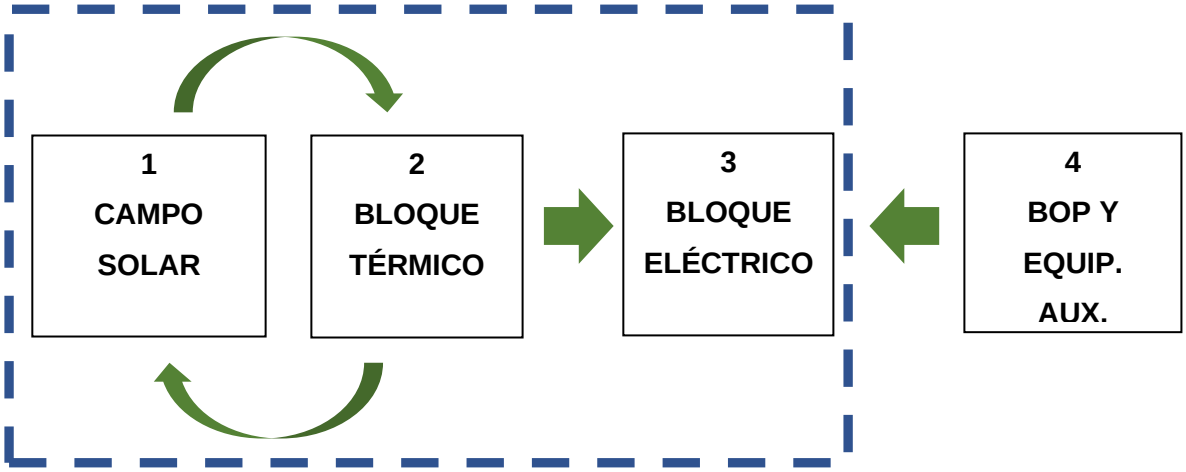

Imagen 1.1 Esquema de una planta termosolar (COT, et al., 2010)

En una planta híbrida termosolar-biomasa, se modifica el segundo bloque, el bloque térmico. Debido a que hay que añadir calderas y diferentes circuitos adicionales, por lo que el control de planta solar se ve modificado completamente (COT, et al., 2010).

Pero estas modificaciones tienen su recompensa, al utilizar la combinación entre la energía de la biomasa y la energía termosolar, se obtiene muchas y muy importantes ventajas, que son descritas a continuación.

- Incrementar la producción anual de la generación eléctrica, respetando y aprovechando las prescripciones legales del marco normativo de producción de energía en régimen especial (renovables) que contempla este tipo de hibridación.
- Permitir un régimen de operación continuo de la central (24 h/d) durante un periodo de tiempo apreciable sin interrupción, y así minimizar el número de arranques y paros de la turbina de vapor, lo que alarga su ciclo de vida y disminuye los costes de mantenimiento.
- Eliminar las pérdidas por arranque diario de la turbina (mejora de la eficiencia)

- Permitir un mejor aprovechamiento de la energía solar incidente, incluso aquel por debajo del mínimo técnico de operación de la turbina.
- Posibilitar, si cabe, un mayor rendimiento de la turbina a cargas inferiores del 100%, al posibilitar combinar la unidad termosolar con las unidades de biomasa.
- Transcender las potenciales afectaciones por periodos de nubes."

(Molins, 2013)

Esta tecnología ya existe, y se implantó por primera vez en el mundo en España, con la construcción en 2012 de la central de Borjas Blancas (Lérida) (FuturEnergy, 2018). En la Imagen 1.2 se ve un diagrama de dicha central híbrida termosolar-biomasa.

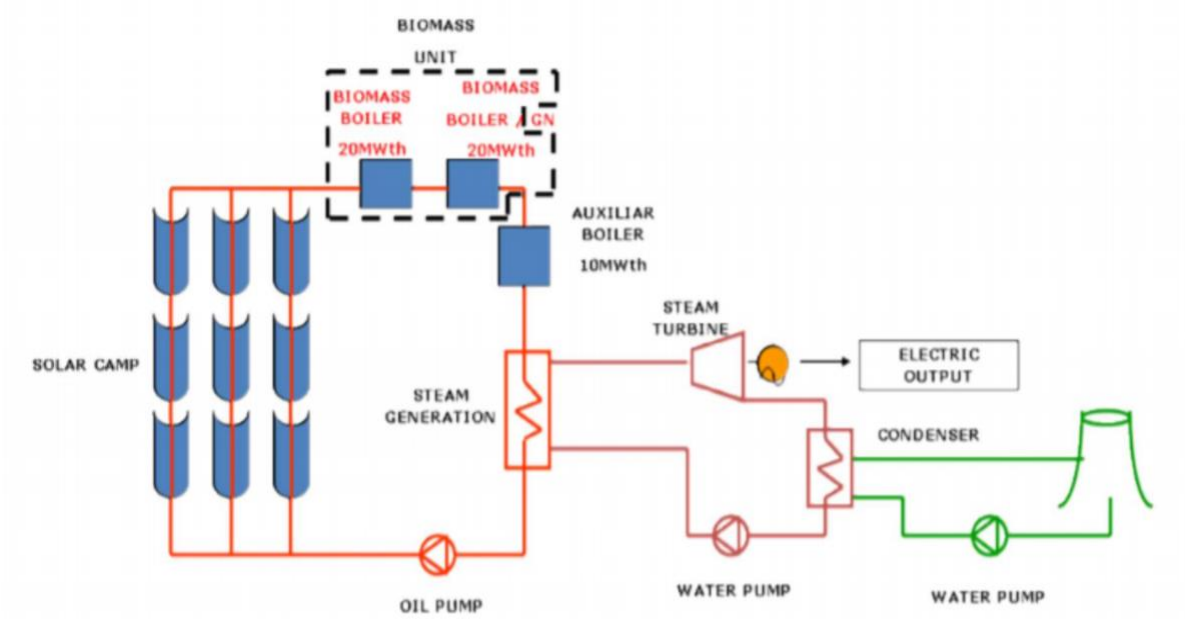

Imagen 1.2 Esquema de la "Termosolar Borges" (COT, et al., 2010)

En la Imagen 1.2 se observa como el calor obtenido en el campo solar se combina con el calor procedente de las calderas de biomasa, para generar vapor con el que alimentar una turbina acoplada a un generador eléctrico.

Esta disposición según el propio fabricante de calderas SUGIMAT, suministrador de esta central asegura que aumenta el tiempo de operación de la planta termosolar un 150% al combinarse con la biomasa (RENOVABLES, 2020).

La energía termosolar

La energía térmico solar es una de las partes importantes que componen una central híbrida termosolar-biomasa. Entendiendo como energía térmica solar, al proceso de transformación de la radiación solar en energía térmica aprovechable (García, s.f.).

Para conseguir dicha transformación de la energía proveniente del Sol, se puede realizar de diversas formas, como sería el uso de discos parabólicos con máquinas Stirling (Imagen 1.3), reflectores lineales tipo Fresnel (Imagen 1.4), concentradores cilíndricos parabólicos (Imagen 1.5), que son los utilizados en la central de Borges Blanques, y mediante torre central (Imagen 1.6), que será la forma que se propone en este proyecto.

Imagen 1.3 Disco Stirling (Centralestermolsolares, s.f.)

Imagen 1.4 Central de termosolar de espejos reflectores Fresnel (Helionoticias, 2012)

Imagen 1.5 Concentrador solar cilíndrico parabólico (Villasante, 2010)

Imagen 1.6 Central solar de torre central (REVE, 2014)

Planta termosolar de torre central

El funcionamiento de una central de termosolar de torre central, consiste en concentrar la radiación solar en un único punto ubicado en la parte superior de una torre. Para tal propósito son necesarios cientos o miles de reflectores, denominados heliostatos, los cuales se orientan de forma individual según la posición del Sol.

En la parte superior se encuentra un captador, que absorbe y transfiere este calor a un fluido, que en la actualidad suelen ser sales fundidas. Esto es debido, a una gran capacidad de transferencia del calor y además ofrecen la posibilidad de almacenamiento térmico (Lasheras, 2013). En la siguiente Imagen 1.7 se pueden observar los componentes que forman una central termosolar de torre central y su principio básico de funcionamiento.

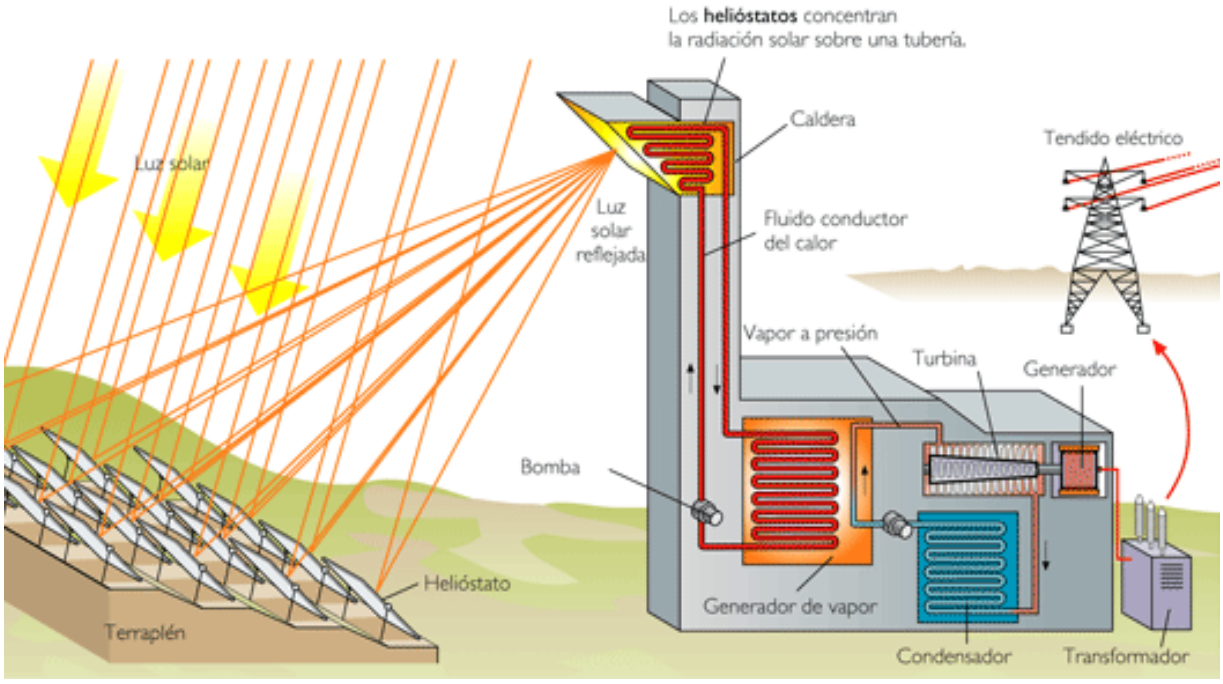

Imagen 1.7 Esquema de funcionamiento y componentes de una central termosolar de torre central. (3bohiotecno, s.f.)

La energía de la biomasa

Definiendo como biomasa a, toda la materia orgánica susceptible de ser transformada en bioenergía o bioproductos. Esta puede tener origen agrícola, forestal, ganadero, o proceder de industrias asociadas a estos sectores (agroalimentarias, forestales, acuicultura, entre otras). Asimismo, se considera biomasa la fracción orgánica de los residuos municipales.

La biomasa o biomasas (en plural) pueden valorizarse energéticamente mediante diversos procesos termoquímicos y/o biológicos para obtener bioenergía en forma de electricidad, calor

o biocarburantes para el transporte. Estos procesos y los productos obtenidos se sintetizan. En la Imagen 1.8 se pueden ver estos procesos y los resultados de éstos.

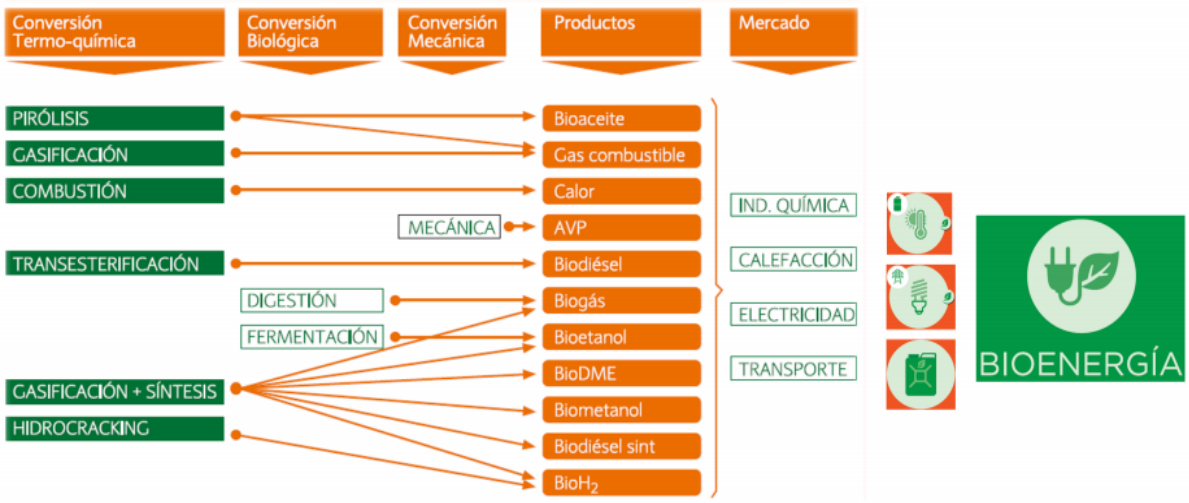

Imagen 1.8 Procesos básicos para transformar biomasa en energía y combustibles. (de Gregorio, 2019)

Además, mediante otros procesos más complejos (en los que puede intervenir la biotecnología, entre otras disciplinas), la biomasa puede transformarse en bioproductos tales como biomateriales (bioplásticos), bioquímicos, biofármacos, etc. (de Gregorio, 2019).

Aun así, la forma más común para aprovechar la energía contenida en la biomasa es la combustión. Esta se realiza mediante quemadores en las calderas, que a su vez transfieren el calor liberado de dicha combustión de la biomasa a un fluido caloportador, generalmente agua.

El bitcoin y su minado

Hasta ahora se ha descrito una forma eficiente y algunos de los recursos que disponibles para obtener una energía limpia y sostenible. Esta tecnología ya es una realidad, y se ha demostrado que es viable, que tiene la capacidad de producir energía a partir de los restos agrícolas, pero todavía éstos son quemados en el campo con el consiguiente desperdicio energético y riesgo de incendios ya mencionados.

Para conseguir que estos residuos que se queman en los huertos puedan ser aprovechados en una central biomasa, hay que conseguir pagar lo suficiente para que el transporte desde los campos hasta la central sea rentable. Por lo tanto, no solo la eficiencia del proceso de

transformación biomasa en energía es fundamental, sino que además el uso de dicha energía ha de ser lo más rentable posible.

Con la finalidad de conseguir esta rentabilidad de la energía, se hace necesario la aplicación de ideas propias del siglo XXI, como utilizar la energía obtenida mediante la planta híbrida termosolar-biomasa en el minado de bitcoin y de otras criptomonedas. Esto, podría generar el suficiente rendimiento económico para pagar a los agricultores, instituciones y a todos los particulares o empresas que aporten su biomasa, un precio por el que las molestias y costes del transporte desde el lugar de origen de los residuos hasta la central valgan la pena.

Pero ¿Qué es un bitcoin?

Un Bitcoin (Nakamoto, 2008) es una moneda electrónica descentralizada implementada utilizando la criptografía y tecnología peer-to-peer (puerto a puerto) (Kroll, et al., 2013). Inventada por Satoshi Nakamoto (Seudónimo, su identidad verdadera se desconoce) en 2008 y lanzada en 2009. De hecho, una de las primeras ventas de Bitcoin que se tiene constancia fue en octubre del 2009 y el valor en aquel entonces se calculó de la siguiente forma:

Se dividía un dólar (1.00 US$) por el consumo medio de electricidad de un ordenador, con la CPU al máximo durante un año, 1335kWh, multiplicado por el coste de la electricidad residencial del año anterior en EE. UU. 0.1136 US$ y se dividía entre los doce meses de un año y dividido por el número de bitcoins obtenidos por el ordenador en los últimos 30 días (Surda, 2014).

En la actualidad, los Bitcoins se pueden intercambiar por una amplia variedad de bienes y de servicios, y para los cuales existen mercados de cambio de Bitcoin a dinero fiduciario (FIAT) y viceversa, así como a otras criptomonedas, su precio es de 56.623,75 US$ (Coingecko, 2021), y posee una capitalización de mercado de 1.093.015.455.000 US$. La evolución del precio del Bitcoin con respecto al dólar estadounidense se puede apreciar en la Imagen 1.9.

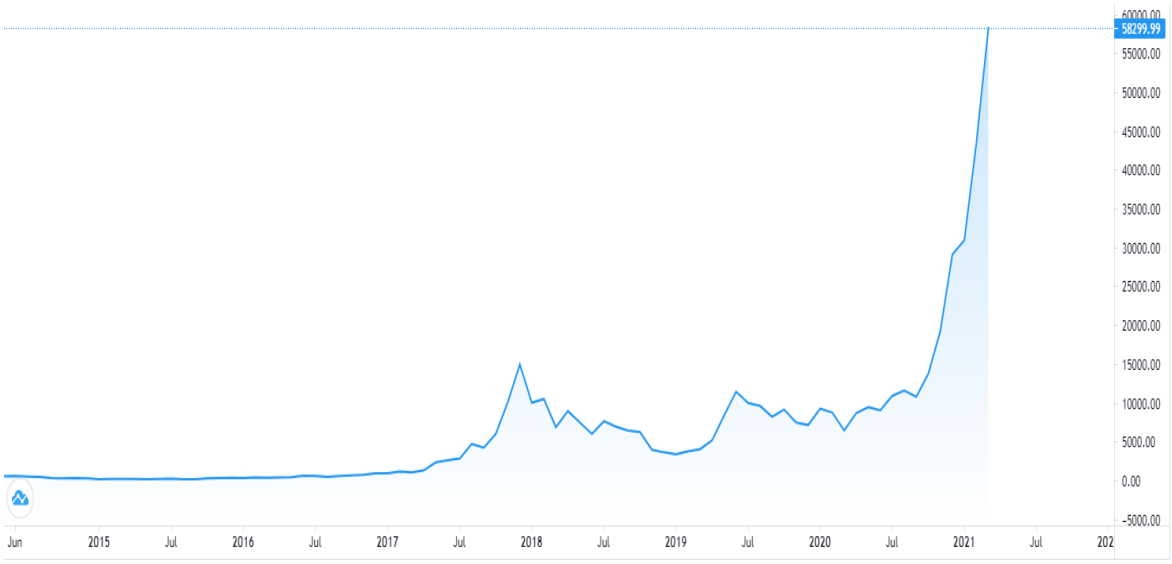

Imagen 1.9 Evolución precio del Bitcoin respecto al US$ (Trading View, 2021)

El Bitcoin en sí mismo no tiene ningún valor intrínseco, como cualquier otra moneda fiduciaria emitida por los gobiernos, tiene un valor por consenso, un valor decidido por quienes comercian con él. Y éste se determinará en virtud de su capacidad para usarse para comprar bienes y servicios.

Desde hace ya años, se pueden comprar todo tipo de bienes y servicios con Bitcoin, esto generó un gran interés en los medios, provocando una ola de monedas de imitación (Litecoin, Tron, Dash, etc.), incluso una moneda de parodia completamente funcional el Dogecoin, que en su conjunto se conocen como criptomonedas.

Bitcoin como se ha mencionado anteriormente se basa en la tecnología peer-to-peer dentro de internet. Los miembros de la red *peer-to-peer*, poseen un *ledger* un "libro de contabilidad" de las transacciones de Bitcoin que han sido aceptadas por la red. En este libro de contabilidad se registran cuantos Bitcoins hay en cada dirección, estas direcciones pertenecen a los usuarios y estos serán propietarios de tantos Bitcoins como contenga su dirección. Estas direcciones son protegidas mediante una contraseña de tipo ECDSA (*Elliptic Curve Digital Signature Algorithm,* criptografía elíptica).

Para asignar Bitcoins o una fracción de éstos a un nuevo propietario, el propietario actual debe firmar la transacción con su contraseña ECDSA. Por lo tanto, antes de que la red acepte una transacción, se comprueba su validez por toda la red, esto incluye las presencias de las firmas (O´Dwyer & Malone, 2014).

Hay que entender que los Bitcoins no son emitidos ni gobernados por una autoridad central, sino que se crean en un proceso llamado minería. Pero a diferencia del dinero fiduciario

emitido por los estados y bancos centrales, no hay un número máximo de Dólares o Euros que pueden ser "impresos", desde que el presidente estadounidense Richard Nixon, promulgo la ley que se conoció como el "Nixon Shock" el 15 de agosto de 1971, por el que los Dólares emitidos dejaban de estar respaldados con el oro de la reserva federal (Mueller, 2011). Sin embargo, sí que hay un número limitado de Bitcoins, y tan solo podrán haber 21.000.000. A día de hoy, (20 de marzo del 2021) se han minado 18.659.250 Bitcoins (Coingecko, 2021).

Siendo la minería uno de los conceptos clave detrás del protocolo del Bitcoin, esta funciona mediante el concepto *Proof of work* (Pruebas de Trabajo), que son soluciones para ciertos acertijos criptográficos muy difíciles, fundamentados en funciones *hash*. (Courtois, et al., 2014)

Pero las soluciones a estos acertijos no son Bitcoins, los acertijos son parte de la confianza de la infraestructura Bitcoin, de hecho, estos rompecabezas están conectados entre sí formando una cadena que es lo que se conoce como *Blockchain* y a medida que aumenta la longitud de esta cadena, se incrementa el nivel de seguridad. Los Bitcoins son simplemente otorgados como recompensa a las personas que presenten estos *Proofs of Work* y que formen parte de esta cadena (Courtois, et al., 2014).

Entonces para obtener Bitcoins es necesario resolver estos rompecabezas criptográficos, esta operación requiere de un esfuerzo computacional muy importante, tanto en tiempo como en energía, y este proceso es el conocido como minado. (O´Dwyer & Malone, 2014)

Para resolver el citado rompecabezas se precisa que se completen un determinado número de cálculos. Este umbral vendrá determinado por el nivel de dificultad del rompecabezas que se establece dinámicamente por la red (Ma, et al., 2018).

El nivel de dificultad se ajusta cada 2016 bloques, para que los bloques sean entregados cada 10 minutos. Por ejemplo, si los bloques se entregan antes de los 10 minutos, la dificultad del acertijo se verá incrementada, pero si, por el contrario, los bloques se entregan pasados los 10 minutos el próximo acertijo será más fácil (Ma, et al., 2018). Por lo que a medida que aumentan las tasas de *hash* a nivel global, más aumenta la dificultad de minado. Entendiendo como tasa de *hash* la unidad de medida de la potencia de procesamiento de la red Bitcoin, una tasa de *hash* o *hash rate* de 10TH/s significa que puede hacer 10 billones de cálculos por segundo (Bitcoin.org, 2021).

En la siguiente Imagen 1.10, se puede ver la evolución de la dificultad de minado de Bitcoin desde su inicio en 2009 hasta la actualidad. Hoy en día (20 de marzo del 2021) la tasa de

hash global está en 158.71EH/s (*Exahash* equivale a 10^{18}) y la dificultad se encuentra en 21.87 Trillones.

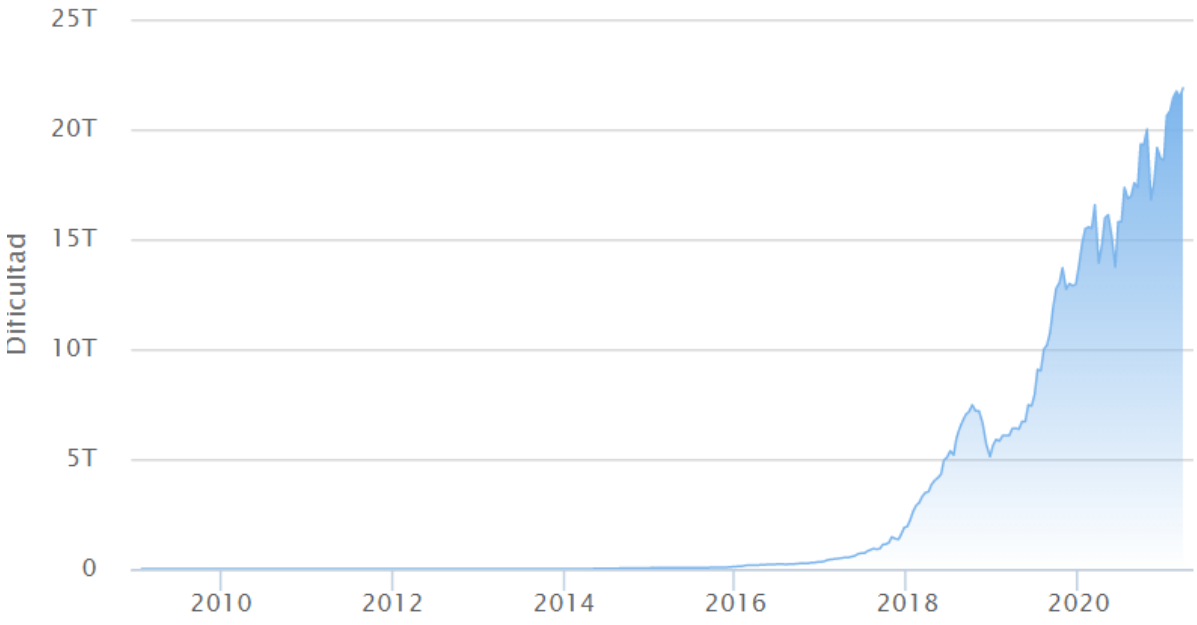

Imagen 1.10 Evolución de la dificultad del Bitcoin (btc.com, 2021)

Otro factor muy importante que hay que tener en consideración para el minado de Bitcoin, es la reducción de recompensas, al principio se daban 50₿ por bloque resuelto, pero esta recompensa se reduce a la mitad cada vez que se resuelven 210.000 bloques (O´Dwyer & Malone, 2014), a este evento es conocido como el *halving*.

A mediados de marzo del 2014 ocurrió el primer *halving*, y la recompensa paso a ser de 25₿, y en la actualidad se obtienen 6,25₿ por bloque, y se espera que el próximo *halving* ocurra durante la primavera del año 2024 (Btc.com, 2021). Esto significa que en un futuro el algoritmo ya no dará más Bitcoins por bloque como recompensa, esto sucederá cuando se llegue al minado de 21.000.000 de Bitcoins, pero el último Bitcoin no se espera que sea minado hasta el año 2140 (Hayes, 2021) ya que el Bitcoin se pude dividir hasta el octavo decimal. Pero esto no significaría el fin de la industria del minado, porque por cada transacción que el minero verifica recibe una pequeña comisión.

En los inicios estas operaciones de minado se desarrollaban en ordenadores comunes, pero a medida que el Bitcoin iba ganando popularidad, y el precio respecto al Dólar aumentaba, hizo que se iniciase una carrera por parte de los mineros para aumentar sus tasas de *hash* (O´Dwyer & Malone, 2014). Al aumentar las tasas de *hash* como se ha explicado anteriormente también aumentaba la dificultad de los acertijos, haciendo inviable la minería

particular, empezó la construcción de instalaciones dedicadas a la minería del Bitcoin. Por lo que la probabilidad de ganar la recompensa por el procesamiento de bloques con un ordenador de uso personal, paso a ser prácticamente nula. (Ma, et al., 2018)

Por poner un ejemplo, entendiendo que cada hash es un boleto de lotería, una vez cada diez minutos hay un sorteo y se otorga un bloque de forma aleatoria, obviamente el que tenga más boletos es más probable que gane, con un ordenador particular es jugar con un solo boleto en una rifa entre un trillón de boletos. Para conseguir ganar más veces el sorteo, los mineros se unieron en lo que se conocen como los *pools,* donde los diferentes mineros ponen en común su capacidad de computación y después dividen las recompensas obtenidas entre sus miembros equitativamente respecto al esfuerzo aportado.

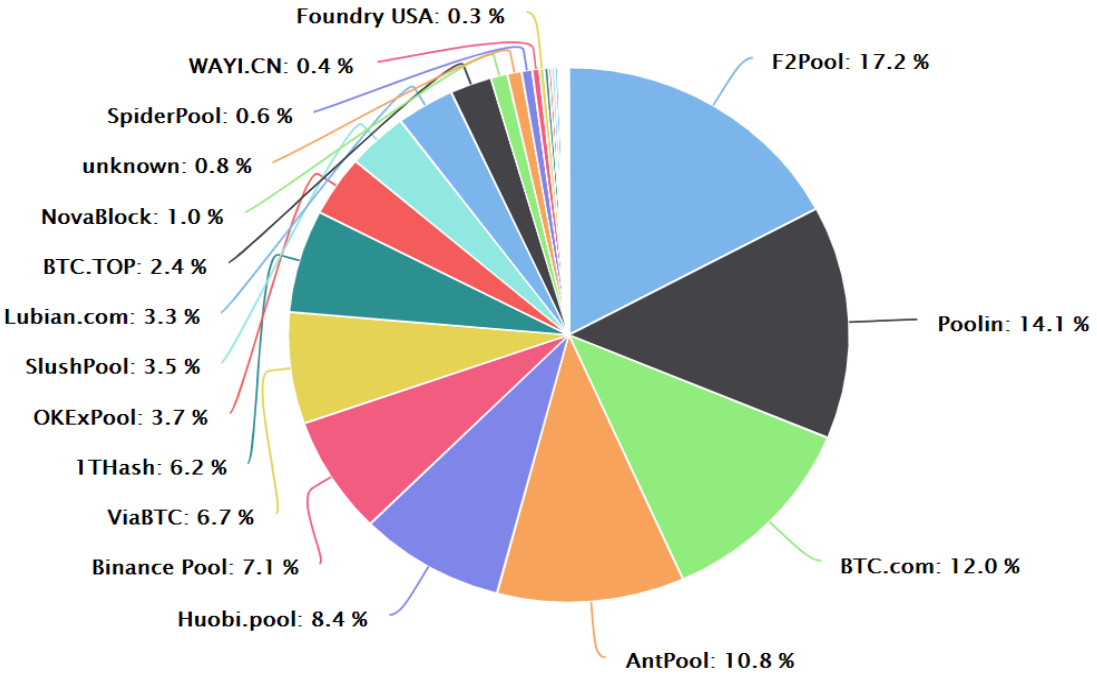

Imagen 1.11 Distribución de las tasas hash entre los diferentes pools durante el último año (2020) (Btc.com, 2021)

Al iniciarse esta especie de carrera armamentística, se empezaron a utilizar unidades de procesamiento de gráficos GPUs por sus siglas en inglés (*Graphics Processing Units*) éste se debe a que pueden realizar una gran cantidad de cálculos paralelos, por lo que se adaptan muy bien a la minería del Bitcoin, junto con las interfaces de programación estándar, como el OpenCL o CUDA hicieron que se popularizaran entre los mineros, ya que tenían una tasa de hash más alta y un menor consumo de energía, por lo tanto estas unidades GPUs eran más adecuados para la minería que las CPU normales (O´Dwyer & Malone, 2014).

Actualmente se utilizan unidades ASIC (de sus siglas en inglés: Circuito Integrado para Aplicaciones Específicas), que tienen una tasa de *hash* todavía más elevada con un consumo energético menor que las GPUs. Buena prueba de esto sería el ASIC *Bitmain Antminer S19 Pro* tiene una tasa de hash de 110 TH/s por un consumo de 3250W ±5% a 25ºC.

Imagen 1.12 Bitmain Antminer S19 Pro (clevo-computer.com, 2021)

Hay que tener en cuenta, que prácticamente toda la energía que reciben estos equipos de minado ASIC, se transforma en calor, calor que debe ser disipado, ya que estas unidades pierden eficiencia y durabilidad cuando trabajan a temperaturas elevadas, por lo que se hace imprescindible que trabajen en ambientes fríos y refrigerados, que consigan mantener la temperatura en el ambiente de trabajo entorno a los 15ºC o 20ºC, para conseguir mantener la temperatura de los procesadores por debajo de los 70ºC.

Este problema operativo, ha hecho que actualmente el minado de criptomonedas se realice en la mayoría de los casos en zonas geográficas en las que predominan los climas fríos, con el objetivo de reducir los costes de refrigeración que requieren estos procesadores de minado. (Magas, 2018). Buena prueba es la *mina* que se está construyendo en la ciudad rusa de *Norlisk*, en pleno círculo polar ártico (Gascón, 2021).

Refrigeración de la mina de Bitcoin

Pero este minado es posible realizarlo en zonas con climas más cálidos, gracias a las máquinas de refrigeración por absorción de calor (Rusovs, et al., 2018). Definiendo la máquina de absorción, como una máquina que emplea como ciclo de trabajo el ciclo de absorción.

Siendo el ciclo de absorción aquel que se basa en la capacidad que tienen algunas substancias, como el bromuro de litio o el amoniaco, para absorber en fase líquida vapores de otras substancias como el agua. (Rego, 2021)

Para realizar este proceso hay diferentes etapas, que se muestran en la Imagen 1.13 y se describen a continuación.

En la primera etapa el generador (1), la solución amoniaco/agua (en el caso de las máquinas de simple efecto) es llevado a ebullición mediante la aportación de calor del foco caliente, que en nuestro caso podrían ser los gases de escape de la caldera o el vapor de salida de turbina. Esto produce la evaporación del amoniaco (fluido refrigerante) y se separa del agua.

El amoniaco ahora en estado gaseoso es enviado al condensador (2), donde el amoniaco se condensa por enfriamiento gracias al aire exterior, ahora ya en fase líquida pasa por la válvula expansora que reduce la presión antes de llegar al evaporador (3) y debido a esta reducción de presión el amoniaco se vaporiza absorbiendo las calorías del circuito de utilización.

Por último y para cerrar el ciclo este amoniaco en estado gaseoso pasa por el aparato de absorción (4), donde vuelve a disolverse con el agua proveniente del generador (1). (Amabat, 2008)

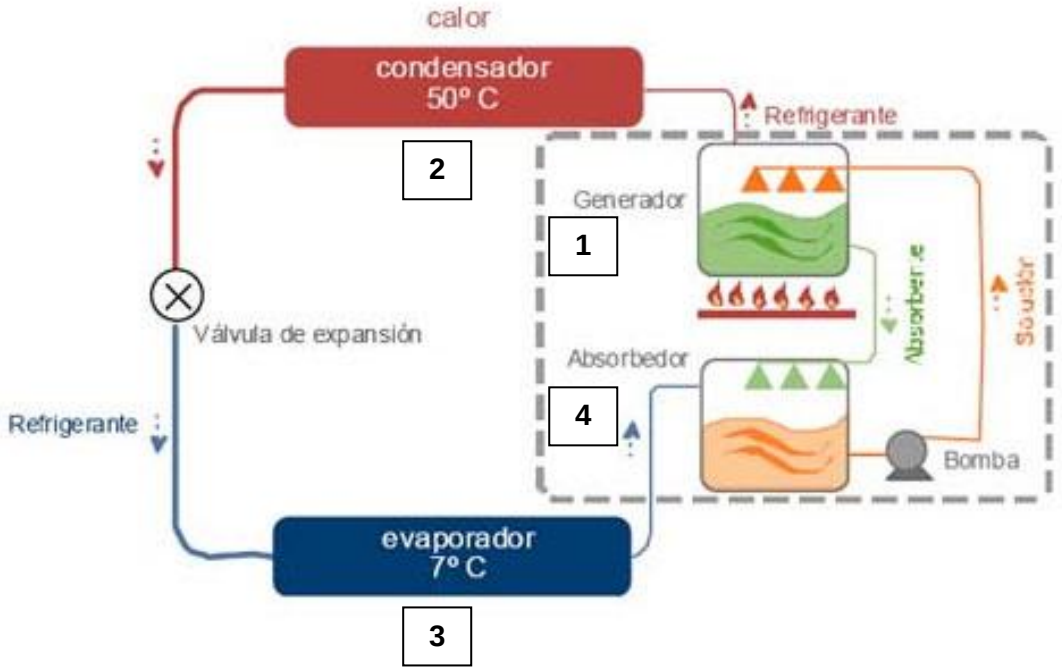

Imagen 1.13 Esquema de una máquina de absorción de efecto simple: Amoniaco/Agua (Rodriguez, 2015)

Por lo que con esta tecnología se puede proporcionar la refrigeración necesaria para operar de forma eficaz las máquinas de minado de Bitcoin, los anteriormente mencionados ASICS,

sin incrementar el gasto en energía eléctrica, consiguiendo un aumento sustancial de la eficiencia del proceso.

1.3 Necesidades a Satisfacer

Ante esta situación de desaprovechamiento de la energía contenida en esta biomasa proveniente de restos de agrícolas, forestales, residenciales o urbanos (parques y jardines). Desaprovechamiento que además es la causa de la destrucción del 10% de la masa forestal asolada por los incendios. Un proyecto como éste se hace muy necesario, y más aún teniendo en cuenta el elevado riesgo de desertificación que hay en la provincia de Alicante y en toda España en general.

Por lo tanto, aprovechar esta energía a la vez que estos restos son apartados de los campos y huertas es vital. Esto se puede conseguir haciendo que la retirada de estos residuos sea rentable, como ya se ha mencionado y hay que basarse para tal fin en:

- La eliminación de intermediarios.
- La eliminación de los costes y pérdidas asociadas al transporte de la electricidad.
- Incrementar la eficiencia del proceso.
- Dar un uso más rentable a la energía eléctrica conseguida, más allá de su simple venta a la red, como es el minado de criptomonedas.

Para conseguir cumplir estas bases y con ellas la rentabilidad necesaria, no hay que recurrir a la ciencia ficción. La tecnología requerida para lograrlo está disponible tal y como muestra este trabajo. Ante los datos mostrados se hace patente la necesidad de plantas como la que se presenta. Con dicha instalación las fumarolas que se observan en los huertos como las que se ven en la Imagen 1.14, con sus riesgos potenciales de causar incendios forestales se convertirán en cosa del pasado.

Imagen 1.14 Fumarolas producidas por la quema de restos de poda y agrícolas en El Vergel (Alicante) Fuente: Dolores Pons

Teniendo en cuenta las estadísticas de la Consejería de agricultura, medio ambiente, cambio climático y desarrollo rural durante el periodo 2009-2018, la provincia de Alicante fue la que más incendios sufrió por negligencias y causas accidentales de la Comunidad Valenciana con un 36% (Consejería de agricultura, medio ambiente, cambio climático y desarrollo rural, s.f.). Tal y como se observa en la Imagen 1.15, y también la que más superficie fue afectada por esta misma causa con un 75% (Imagen 1.16).

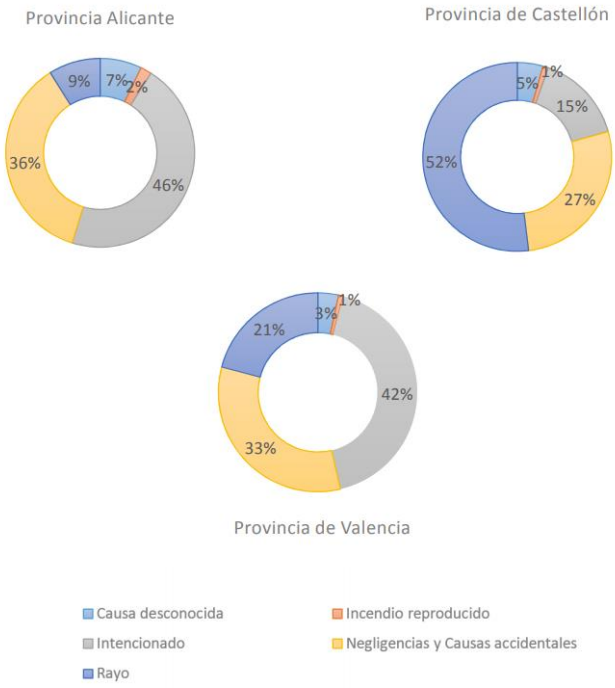

Imagen 1.15 Número de incendios por grupos de causas en cada provincia. (Consejería de agricultura, medio ambiente, cambio climático y desarrollo rural, s.f.)

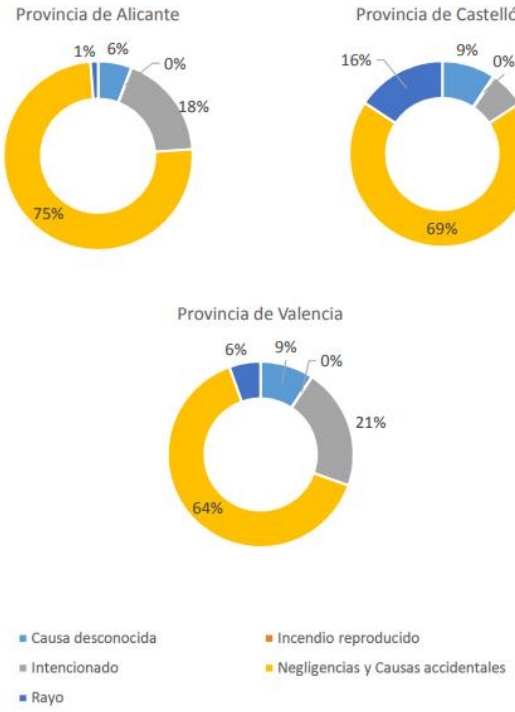

Imagen 1.16 Superficie afectada por grupos de causas en cada provincia. (Consejería de agricultura, medio ambiente, cambio climático y desarrollo rural, s.f.)

Durante este periodo (2009-2018) la principal causa de los incendios englobados en negligencias y causas accidentales en la Comunidad Valenciana fue la quema agrícola, con 411 incendios y afectando a 3.164 hectáreas (Consejería de agricultura, medio ambiente, cambio climático y desarrollo rural, s.f.).

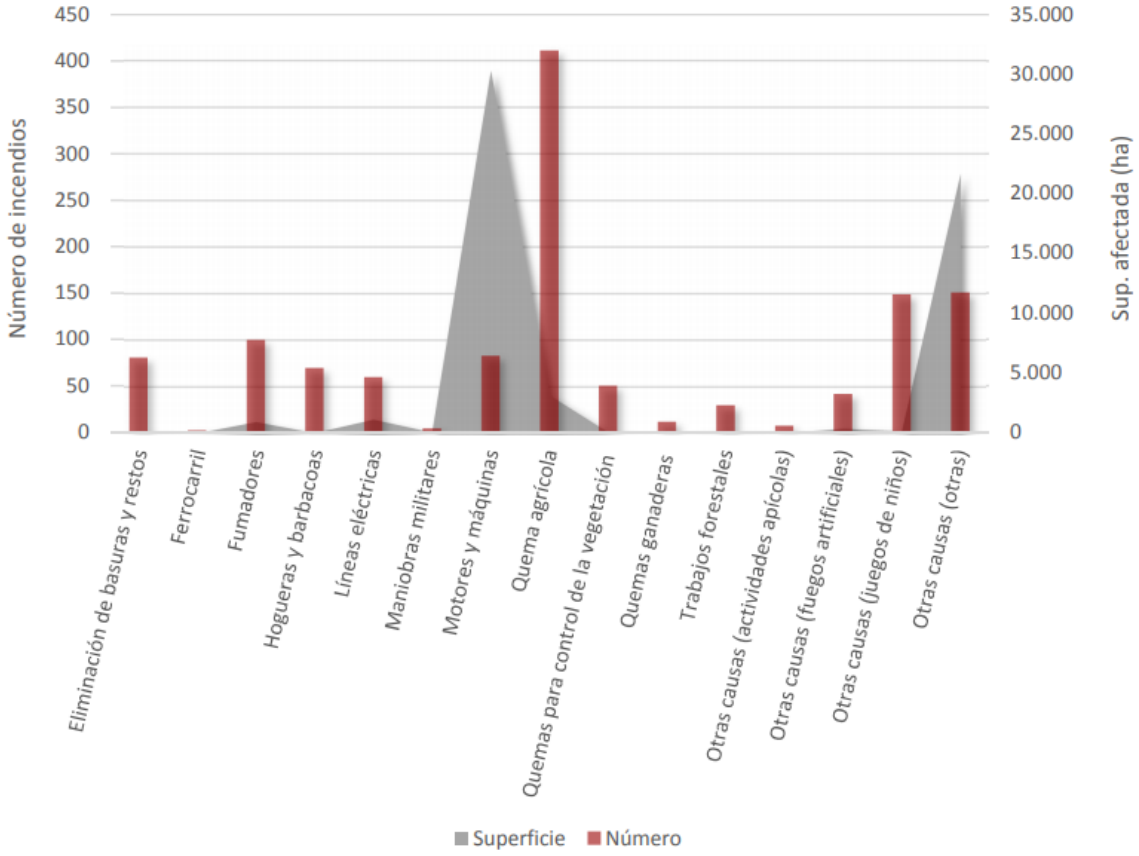

Imagen 1.17 Número de incendios y superficie afectada del grupo de causa negligencias y causas accidentales. (Consejería de agricultura, medio ambiente, cambio climático y desarrollo rural, s.f.)

También hay que señalar la especial importancia que cobra un proyecto de este tipo, debido al impacto positivo que puede tener en la economía alicantina, que ha sido especialmente castigada durante estos últimos meses por la pandemia del COVID 19 (Instituto Estudios Económicos Universidad de Alicante, 2020). Por lo que un proyecto de estas características se hace muy necesario.

La simbiosis que se puede crear con esta central en la provincia de Alicante sería muy fructífera. Por una parte, la creación de los puestos de trabajo directo, su impacto económico en la agricultura de la zona, capaz de aumentar los beneficios de las zonas de cultivos, y con el potencial de hacer que la limpieza de los bosques genere beneficios en vez de ser un coste para las arcas públicas. El propiciar que los bosques estén limpios reduciría el riesgo de incendios forestales y en caso de que éstos se produzcan, el fuego se propagaría más lentamente, siendo así más fácil de controlar y extinguir. (Briones, s.f.)

Por otro lado, la provincia de Alicante es un lugar idóneo para establecer este tipo de central, debido a que cuenta con las infraestructuras necesarias en diversos puntos de su geografía,

hay gran cantidad de zonas cultivadas con árboles frutales, parajes naturales únicos que deben ser protegidos y las condiciones climáticas para el aprovechamiento del sol como fuente de energía es óptima (Ortiz & Moreno, 2016) (Climatedata, s.f.).

1.4 Alcance Del Trabajo

En este trabajo se estudian las sinergias entre una planta híbrida termosolar-biomasa con su entorno, si la energía obtenida en dicha planta se usa para el minado de Bitcoin, en vez de vender la electricidad a la red.

Para tal fin se compara los costes, periodos de amortización y beneficios entre estas dos posibilidades y se evalúa la capacidad de generar riqueza en su entorno y de eliminar la biomasa residual de los campos de cultivo, con el fin de prevenir incendios forestales.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Biomasa

Para la comprensión de la energía de la biomasa y poder centrar el proyecto se consulta diferentes textos (Agencia Extremeña de la Energía, s.f.), (Rengifo, 2016), (Cerdá, 2012), (Fernández, 2003).Definen qué la biomasa, y explican el motivo por el cual la combustión de biomasa se considera de carácter renovable, así como las diversas procedencias y formas que puede tener la citada biomasa para su aprovechamiento energético.

Por lo que conocer los diferentes poderes caloríficos de todos los tipos de biomasa, es fundamental para estudiar la viabilidad y rendimiento de la central tal y como se muestran en (ATECYR, 2010).

2.2 Incendios Forestales

Estudiar el impacto de las quemas de restos agrícolas, y su repercusión en los incendios forestales que se producen en España y concretamente en la provincia de Alicante. Se estudian los informes emitidos por organizaciones estatales y regionales (Ministerio de agricultura, pesca, y alimentación, 2019) (Consejería de agricultura, medio ambiente, cambio climático y desarrollo rural, s.f.).

Se analiza el coste de extinción de estos incendios forestales, si bien es cierto que dicho coste es muy variable, ya que hay muchas circunstancias que influyen, desde la orografía, hasta el precio del combustible de aviación en el momento del incendio como queda reflejado en el artículo (Faro de Vigo, 2017).

Las consecuencias de los incendios en la desertización de España son patentes, tal y como se explica en (Sanjuán, 2014) y un factor a tener en consideración para evitar el cambio climático.

Para entender la extinción de los incendios forestales se analiza un manual de cuadrillas forestales (Briones, s.f.) y se investiga el informe de uno de los incendios más devastadores que asolaron la Comunidad Valenciana el de Cortes de Pallás (UT-902 Prevenciò d´incendis forestals, s.f.).

2.3 Impacto Económico En La Provincia De Alicante

Con el objetivo de establecer el impacto económico que tendría este proyecto en la provincia de Alicante, es necesario establecer un punto de partida de la situación económica en la región

(Instituto Estudios Económicos Universidad de Alicante, 2020) y especialmente como está estructurada la agricultura en la provincia (Bleso, 2013), que es en su mayoría minifundista.

2.4 Planta Híbrida Termosolar - Biomasa

En este proyecto se hace un estudio en profundidad de diversas centrales de biomasa instaladas en España (Ruiz, 2020), así como diversos trabajos y conferencias que proyectan y analizan la construcción de este tipo de plantas y las plantas híbridas biomasa-termosolar. (Ortiz, 2016) (Saralegui, 2018) (Guillem, 2020) (Valencia-Chapi, et al., 2020).

Centrándose especialmente en la primera central en el mundo híbrida termosolar-biomasa que hay instalada. Que además se encuentra en España la de Borges Blancas. Con el propósito de dicho estudio se consultan los artículos de: (COT, et al., 2010) (Molins, 2013). Así como diversas publicaciones en la prensa especializada: (RETEMA, 2013) (Rico, 2020) (Innergy, s.f.).

2.5 El Bitcoin Y Su Minado

En este proyecto se hace indispensable tener una correcta compresión del Bitcoin, por lo tanto, el estudio del *"white paper*[1]*"* de Satoshi Nakamoto (Nakamoto, 2008) es básico, así como los orígenes de ésta (Surda, 2014). Además de otros artículos publicados que explican la complejidad, los entresijos y la huella energética del minado de estas criptomonedas (Courtois, et al., 2014) (Kroll, et al., 2013) (O´Dwyer & Malone, 2014) (Ma, et al., 2018).

Para tener una representación actual del estado del Bitcoin, es fundamental visitar páginas webs especializadas en Criptomonedas, y analizar los datos de las mismas (Bitcoin.org, 2021) (Btc.com, 2021) (Magas, 2018) (Coingecko, 2021) (Trading View, 2021). En estas webs se pueden ver artículos de cómo el Bitcoin está convirtiéndose en una reserva de valor ante una eventual inflación (Yakubowski, 2020) (Polavieja, 2020).

Antes de empezar a minar es importante saber qué tipo de hardware es requerido para la minería de Bitcoin (clevo-computer.com, 2021), saber el precio de los mejores mineros disponibles en el marcado, así como sus condiciones óptimas para trabajar (Bitmain, 2020). Teniendo en cuenta sus requerimientos de trabajo a bajas temperaturas y que cada minero se puede considerar un calefactor de prácticamente de tantos Watios, como consumo eléctrico tiene. Explica la construcción de las minas en climas fríos (Gascón, 2021).

Pero en climas mediterráneos como el de la provincia de Alicante este minado es viable gracias a la trigeneración (Rusovs, et al., 2018). Además, la mina se puede construir bajo

[1] *White paper*: Documento que tiene como objetivo explicar al lector un concepto o tema concreto

tierra y cubierta por un manto de masa vegetal, con el objetivo de conservar una temperatura constante durante todo el año (Neila, 2000).

2.6 La Refrigeración

Teniendo en cuenta las exigencias de refrigeración por parte del hardware de minado, se hace indispensable refrigerar la instalación (la mina), se opta por la trigeneración, es decir, la refrigeración mediante máquina de absorción térmica (Rusovs, et al., 2018). Para comprender el funcionamiento de esta tecnología se consultan los siguientes textos: (Amabat, 2008) (Rodriguez, 2015) (Rego, 2021) (Erauskin, s.f.) (IDAE, 2008). Que no solo explican la tecnología, nos detallan sus componentes, eficiencias y ejemplos de instalaciones en los cuales estas máquinas de absorción están implementadas.

2.7 Las Cenizas

Es básico dar un uso al mayor residuo generado por las plantas de biomasa, y analizar los estudios realizados al respecto es fundamental para realizar el proyecto, y adaptarlo a las demandas de sostenibilidad del siglo XXI. Para tal propósito se analiza en conciencia el estado del arte en esta materia y el estudio concienzudo de Claudia Belviso (Belviso, 2018), tanto en su bibliografía, como en sus conclusiones se proponen distintos usos para las cenizas, tanto de biomasa como de carbón (Basu, et al., 2009) (Cemex, 2021). Y se recomienda que se investigue más en la utilidad de éstas en la sintetización de zeolitas.

2.8 Financiación Del Proyecto

Para las ideas que se proponen para financiar el proyecto, se han consultado diversas webs especializadas, tanto para crear tokens en la red *Ethereum* (tokenlauncher.com, 2021) (Vittominacori, 2021) (https://tokenmint.io/, 2021), como en la *EOS* (mywhish, 2021) (EOS, 2021) y en el entorno de la criptomoneda *Tron* (Tron foundation, 2021).. Webs que nos explican cómo crear un token desde cero.

3 METODOLOGÍA Y ANÁLISIS

3.1 Central De Referencia

Se propone la construcción de una central de 50 MW de potencia eléctrica que aprovecha las sinergias entre la energía termosolar y la energía de la biomasa, para el minado de criptomonedas. Mina que dispondrá de una potencia de minado de 1 320 000 TH/s (Ecuación 4.7).

El funcionamiento de la planta consistirá en siempre que exista radiación solar suficiente, será el grupo solar el que proporcione la energía térmica al ciclo de potencia. Cuando la energía generada por el receptor solar no sea capaz de suministrar la energía demandada por el ciclo, será en este caso cuando el grupo de biomasa proporcionará la energía necesaria al ciclo.

El grupo termosolar es de tipo de torre central, como ya se ha mencionado, este tipo de grupo precisa de un campo de heliostatos (espejos) que reflejan los rayos solares a un receptor situado en lo alto de una torre.

La otra parte del ciclo de potencia es el grupo de biomasa, que está compuesto por una caldera en la que se realiza la combustión de la citada biomasa, y demás elementos auxiliares para el tratamiento previo al combustible, y la depuración de los gases de escape.

La energía térmica aportada por los grupos antes mencionados es transformada en energía eléctrica mediante un ciclo de potencia Brayton de CO_2 supercrítico. Dicha electricidad se utilizará para alimentar los equipos de minado de criptomonedas, y el calor residual del ciclo se empleará mediante una máquina de absorción para refrigerar dicha mina.

La ubicación de esta planta que se propone será en la provincia de Alicante, debido a las sinergias que se obtienen de esta localización, que dispone de un excelente equilibrio entre biomasa y radiación solar, tal y como se puede observar en la Imagen3.1 y en la Imagen 3.12.

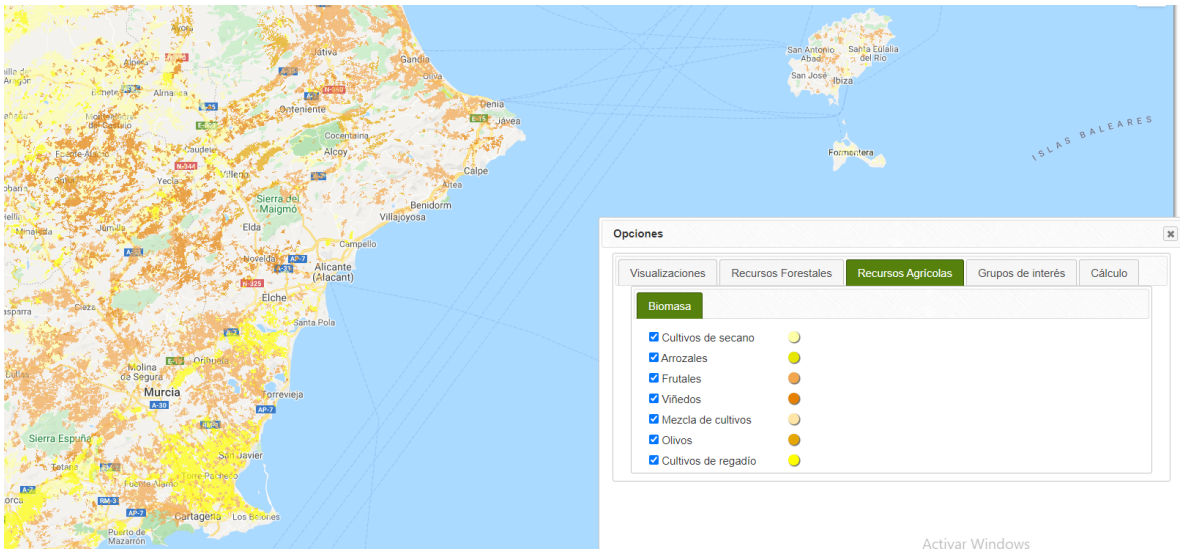

Imagen 3.1 Recursos agrícolas en la provincia de Alicante. (CIEMAT, 2021)

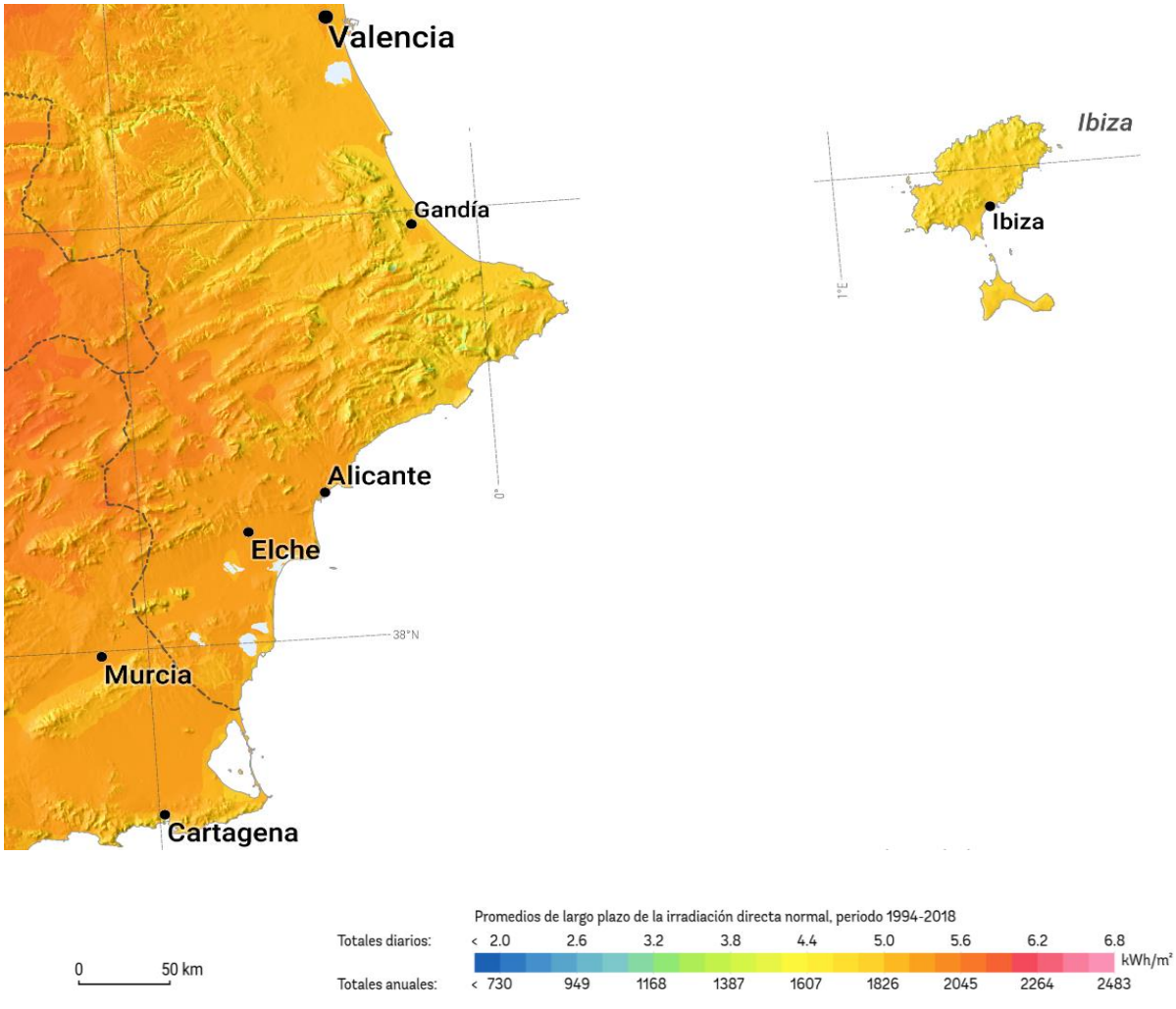

Imagen 3.2 Promedios de largo plazo de la radiación directa normal 1994-2018. (The world Bank, 2017)

3.2 El Proceso

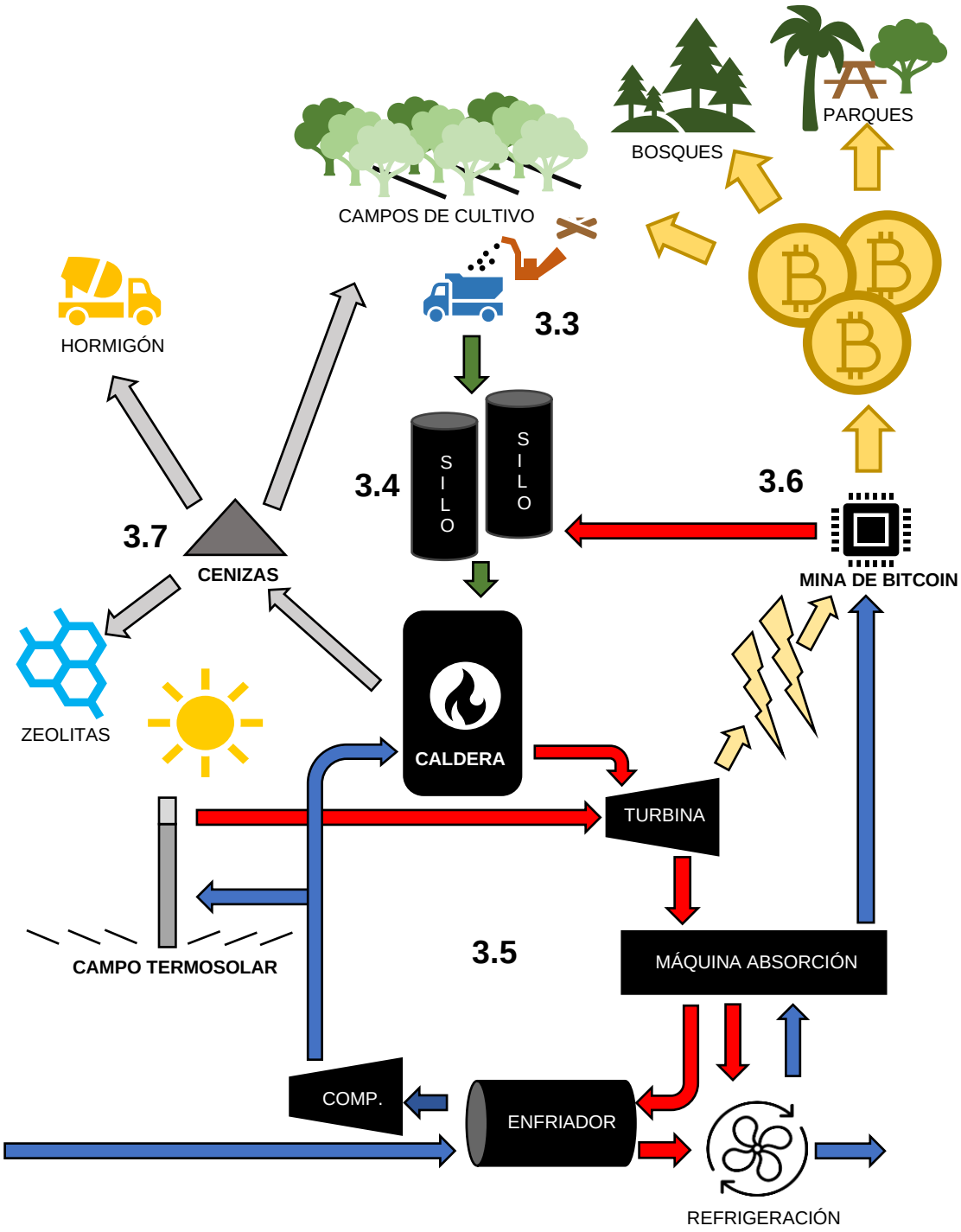

Imagen 3.3 Esquema simplificado de los procesos del proyecto (Elaboración propia)

3.3 Recolección De Los Restos Agrícolas Forestales, Residenciales O Urbanos

El primer punto que tratar es la recogida de los restos de biomasa, siendo el principal cometido del proyecto, la retirada de los restos agrícolas y forestales de los campos, huertas y bosques.

A continuación, se puede observar representado en un diagrama (Imagen 3.4) cómo sería el proceso de forma simplificada.

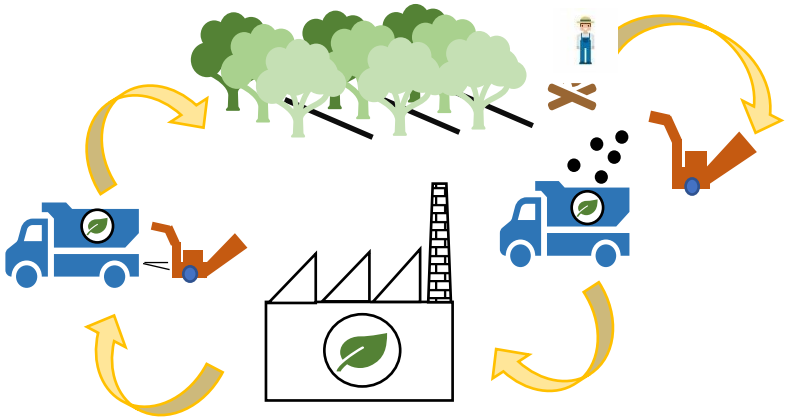

Imagen 3.4 Diagrama del proceso de recolección y pretratamiento de la biomasa (elaboración propia).

Se proponen dos posibles modelos de recogida:

- Entrega directa de los restos biomasa a la planta.
- Recogida por parte de los medios de la planta de la biomasa en el propio campo.

En el caso de la entrega directa, cualquier particular, empresa o institución puede depositar su biomasa residual en la central. Siendo necesaria la instalación de una báscula para vehículos en la propia planta. Se pesa el vehículo nada más entrar a la planta, es decir cuando se encuentra cargado, y se vuelve a pesar a la salida una vez ha descargado su biomasa, y así se conocería de forma exacta la biomasa entregada. Para poder pagar acorde a los kW que esta biomasa es capaz de generar.

En el caso de que se tengan que hacer recogidas en el propio campo, sería necesario contar con una flota de camiones con capacidad todoterreno, esto es debido a que, en muchos casos los accesos a dichos campos se hacen por caminos angostos y en malas condiciones.

Se propone a modo de ejemplo el uso de camiones IVECO DAILY 4X4. El procedimiento para recoger estos residuos sería el siguiente:

- Primero el camión, lleva un triturador de biomasa a remolque, y se desplaza hasta el campo donde se ha solicitado la recogida.

- El solicitante deberá tener agrupados todos los restos de biomasa lo más cerca posible del camino de acceso, para que el proceso de triturado y carga sea lo más rápido posible, de esta forma tras la llegada del camión se puede proceder inmediatamente a la trituración y la carga de la biomasa al volquete del camión.
- El triturado cumple una doble función, la primera es la reducción del volumen ocupado por la biomasa, con lo que se aumenta la capacidad de carga del camión, y a su vez se produce una primera homogenización del residuo.
- El volquete del camión llevará incorporada una báscula para poder determinar la cantidad exacta de biomasa aportada, para así poder determinar, el pago en función de los kilogramos aportados.
- Una vez con toda la biomasa triturada y cargada en el camión, podrá volver a la planta o bien irá a otros campos cercanos, si tuviese espacio libre disponible en el volquete. Esto abarataría los costes del transporte y reduciría considerablemente los tiempos de desplazamiento.
- Una vez el camión ha finalizado las recogidas asignadas regresa a la central y descargará la biomasa en astillas contenida en el volquete.

3.4 Almacenamiento De La Biomasa

En el procesamiento inicial de la biomasa se seguirá el proceso que se describe a continuación, que está representado de forma esquematizada en el siguiente diagrama (Imagen 3.5).

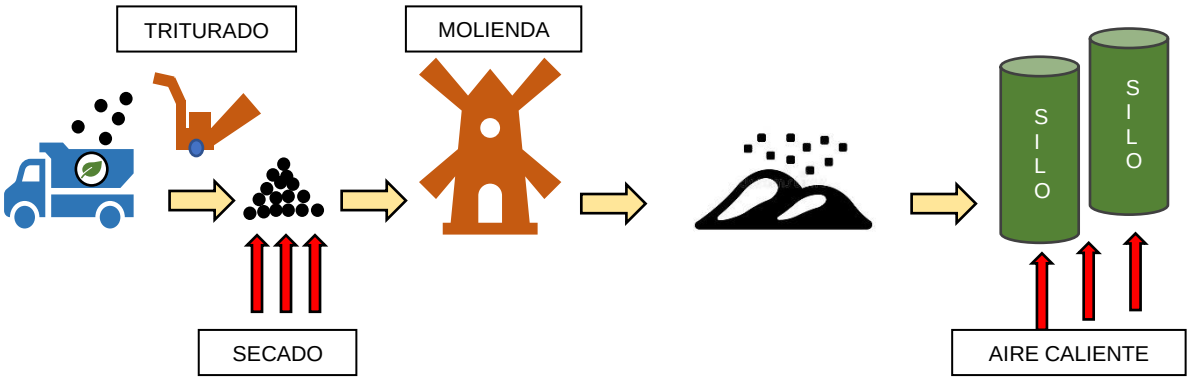

Imagen 3.5 Diagrama del proceso de tratamiento y almacenamiento de la biomasa (elaboración propia).

Tras descargar el camión la biomasa en forma de astillas en la central, o bien si es por entrega directa se tritura en la propia central, este triturado inicial es importante por dos motivos: El primero es que se reduce el volumen que ocupa la biomasa, con el consiguiente ahorro de espacio que supone. Y el segundo motivo, es conseguir una primera homogenización de la biomasa recibida.

Una vez triturada la biomasa en forma de astilla, ésta puede contener hasta un 50% de humedad (Ortiz, 2016),por lo que el proceso de secado se hace imprescindible, para mejorar la eficiencia en el proceso de combustión de la biomasa, si se reduce la humedad se aumenta el poder calorífico de la misma. Además, con el secado se evita que esta se pudra, se facilita el proceso de transporte y el almacenamiento (Vidales & Peña, 2015).

Este proceso de secado inicial de la astilla debe realizarse a baja temperatura, esto es debido, a que la temperatura de autoignición está entre 260 y 280ºC. A esto hay que añadir que a elevadas temperaturas la biomasa genera mayores emisiones de material orgánico volátil.

Para realizar el secado las opciones más comunes son la utilización del calor contenido en los gases de escape obtenidos de la combustión de la biomasa, pero que en este caso no sería viable, porque durante los periodos de alta radiación solar no se realizaría combustión de biomasa, por lo tanto, no se podría obtener calor de esta fuente.

La otro forma ampliamente utilizada es el calor contenido en el vapor tras su paso por la turbina, y antes del condensador, que en el ciclo de potencia de la central propuesta será el CO_2. Esta forma sí que es interesante, aunque no se produzca combustión de biomasa, sí que siempre habrá calor disponible en esta parte del ciclo.

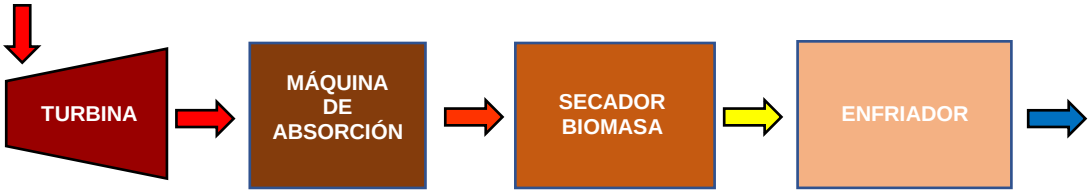

Imagen 3.6 Ciclo de aprovechamiento térmico después de la turbina (elaboración propia).

Utilizando un secador rotatorio (Trommel). Estos equipos disponen de unas aspas interiores continuas que favorecen el avance del material y su mezcla con el agente secante. En la siguiente Imagen 3.7 queda detallado el funcionamiento de un secador de este tipo.

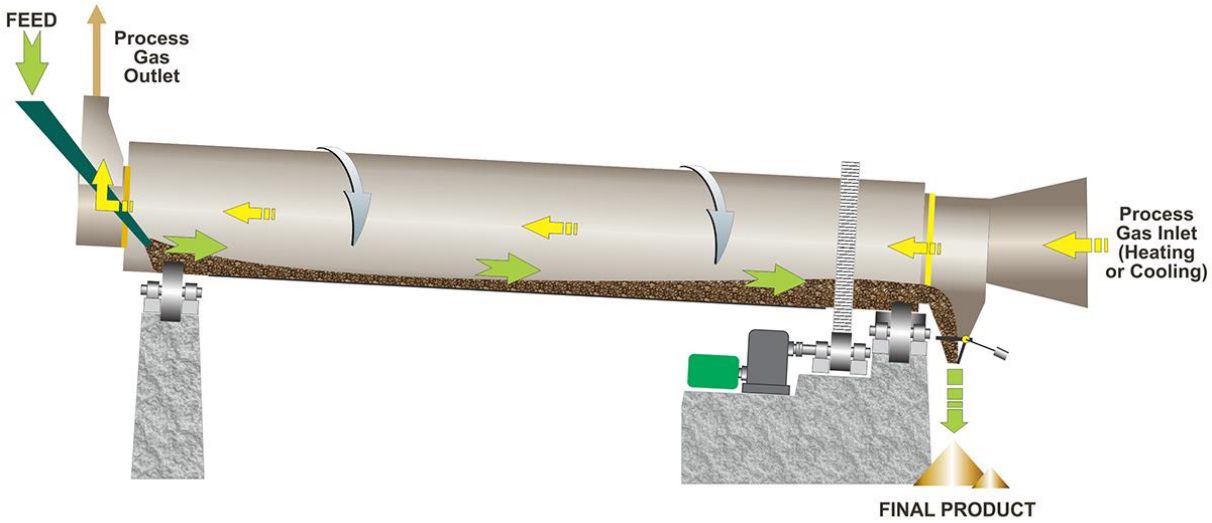

Imagen 3.7 Esquema funcionamiento secador rotatorio (Trommel) (GEA, 2021)

Tras este primer secado, la astilla que está conformada por piezas de 3 a 10 cm de tamaño, atraviesa un proceso de molienda, que consiste en reducir el tamaño de las piezas a un tamaño inferior a los 2 o 3 cm. Para realizar este proceso se utilizan molinos de martillos o de tambor (García, 2007).

Esta disminución del tamaño de las piezas aumenta la eficiencia del proceso de combustión, debido a que se incrementa la superficie de contacto del combustible (la biomasa) con el comburente (oxígeno contenido en el aire). También otra ventaja importante asociada a este proceso de reducción de la astilla es que se consigue una mejor homogenización de la biomasa.

Esta biomasa se almacena en silos para ser utilizada, cuando sea demandada. Sin embargo, en los silos surge un problema, no es otro que la condensación. Esta se produce cuando la diferencia de temperatura entre el exterior y el interior del silo es alta. Para evitar la aparición de este fenómeno, que volvería a humedecer la biomasa allí almacenada. Se hace necesario airear el interior del silo con aire caliente y seco. Para este propósito se puede utilizar el aire proveniente de las máquinas de minado de bitcoin, que producen aire seco entre 40 y 80ºC, que sería suficiente para evitar la condensación en el interior del silo. Tal y como se muestra a continuación de forma esquemática en el siguiente diagrama (Imagen 3.8).

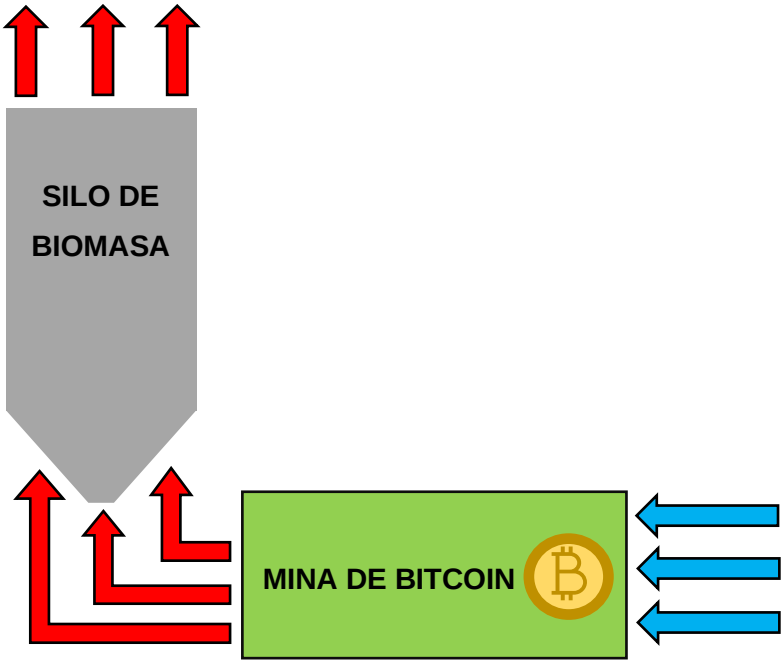

Imagen 3.8 Diagrama ciclo del aire mina-silo almacén (elaboración propia.)

3.5 Ciclo De Potencia

El grupo termosolar de torre central

En una central híbrida termosolar-biomasa, hay que añadir otro elemento, el campo solar, que tiene como objetivo transformar la energía contenida en la radiación del sol en energía térmica aprovechable. En este proyecto se empleará para realizar dicha transformación la tecnología de torre central, ya que ésta presenta unas importantes ventajas sobre las centrales cilíndrico parabólicas (CCP), que todavía hoy en día son las más comunes, y es el sistema que se usa en la central de Borges Blanques.

Si bien es cierto que las CCP tienen un mejor aprovechamiento del terreno, precisando que por cada m^2 de superficie captadora de radiación solar equivale a $3m^2$ y las de torre central necesitan entre 5 y 8 m^2 por cada espejo instalado. Indicando que se requiere de una mayor superficie para obtener la misma potencia en las centrales de torre central que en las CCP, con los costes que supone o la dificultad de encontrar terrenos adecuados de mayor superficie.

Sin embargo, en las CCP el fluido caloportador debe recorrer todo el campo solar, esto suelen ser grandes distancias, con el incremento de las pérdidas de carga que supone y complicando la disposición de la instalación. Esto supone un encarecimiento de las CCP respecto a las centrales de torre central, debido a que, en estas centrales el fluido caloportador tan solo

circula por el interior de la torre y el receptor, reduciendo de forma significativa la complejidad del circuito.

Otra de las causas que encarecen las CCP en comparación con las de torre central, es el precio de los heliostatos, ya que en las de torre central éstos son espejos planos, y en las CCP deben de tener formas parabólicas o curvas, esta característica hace que se incremente de forma notable los costes de construcción de los mismos.

En resumen, atendiendo a criterios económicos, las centrales de torre central tienen un coste de construcción un 30% menor que las CCP para la misma potencia (FENERCOM, 2012). Por lo que esta forma de obtener la energía termosolar es más rentable, y por lo tanto la más favorable para ser combinada con un ciclo de combustión de biomasa.

El grupo de biomasa

El grupo de biomasa tiene como función principal convertir la energía contenida en la biomasa en energía térmica aprovechable, cuando el recurso solar no sea suficiente para satisfacer las demandas energéticas y térmicas de la mina de criptomonedas.

Dicha transformación de la energía se produce mediante quemadores en las calderas. Existen diferentes tecnologías para tal fin, pero la combustión en lecho fluido con recuperación de energía está considerada en la actualidad una de las alternativas más convenientes para la valorización en energética de la biomasa (Valle, 2018).

En estos quemadores el combustible entra suspendido en el aire junto con otros materiales inertes (sílice, arena, cenizas, etc.) por medio de la acción del aire primario distribuido por debajo del soporte, como se muestra en la Imagen 3.1. Para alcanzar esta fluidificación, el aire primario debe llegar a una velocidad mínima estimada en función del tamaño de las partículas y densidad del combustible.

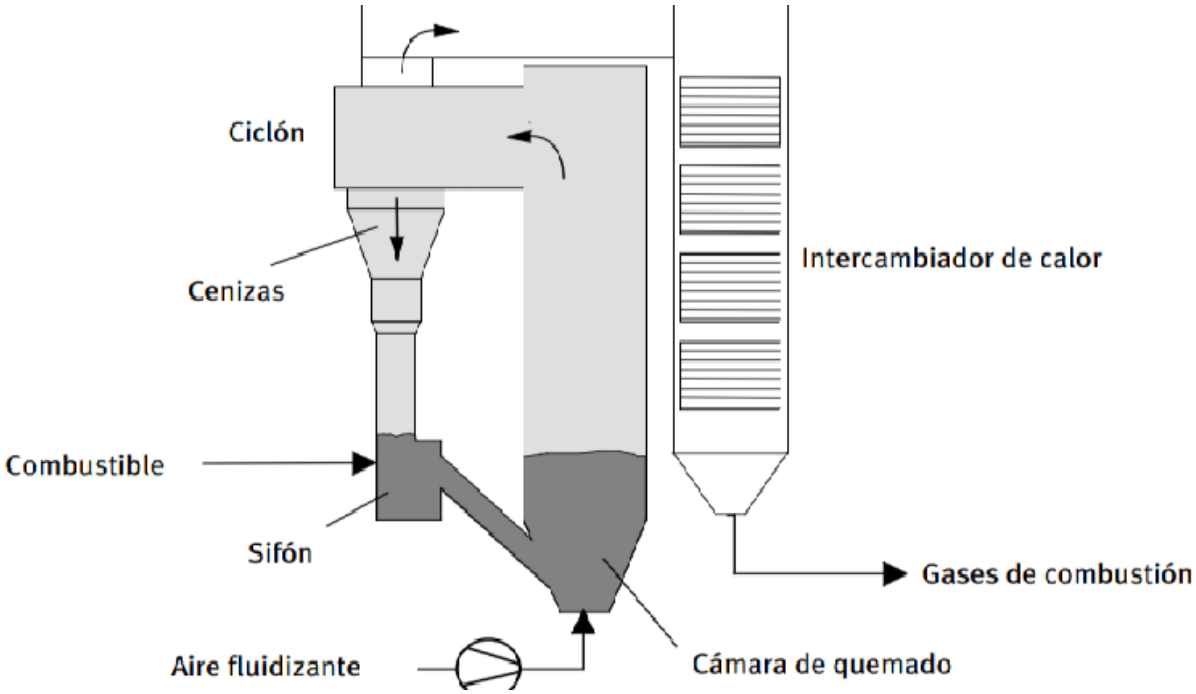

Imagen 3.1 Caldera de lecho fluido con recuperación. (Valle, 2018)

Esta tecnología presenta unas ventajas importantes. Gracias a la turbulencia formada entre combustible y comburente la temperatura es más uniforme, se reduce el exceso de aire y alcanzan eficiencias de combustión del 90%. A lo que hay que añadir que se ha probado de manera exitosa en diferentes tipos de biomasa como cortezas de madera, serrín, lodos y turba entre otros.

Por otro lado, las abrasiones que sufren los equipos son significativas, también hay que pretratar el combustible para conseguir tamaños de partículas del orden de 0.3mm a 1.5mm, el lecho es de difícil limpieza y los elevados costes energéticos de los soplantes de aire serían sus principales desventajas (Nogués, 2010).

Ciclo Brayton de CO_2 supercrítico

Hasta ahora se han descrito las tecnologías necesarias para transformar la energía contenida tanto en la radiación solar, como en la biomasa, en energía térmica aprovechable. Pero con el objetivo de conseguir que dicha energía térmica se transforme en electricidad, es necesario un ciclo de potencia y con un fluido caloportador.

Para este proyecto se utilizará como modelo para el ciclo de potencia, un ciclo Brayton de CO_2 en estado super crítico, tal y como se propone en los trabajos de (Valencia-Chapi, et al., 2020) y (Guillem, 2020).

Este tipo de ciclos de CO2 supercríticos cada vez son más relevantes, debido a sus elevados rendimientos, una disposición bastante simple y una turbomaquinaria e intercambiadores de calor compactos, ventajas que conllevan a una reducción de costes (Valencia-Chapi, et al., 2020).

Al comparar un ciclo Brayton, con un ciclo de Rankine agua/vapor, que es el utilizado por la mayoría de las centrales para la producción de electricidad. Estos últimos trabajan con bajas presiones y temperaturas a la salida de la turbina, esto sin duda es una ventaja del ciclo Rankine respecto al Brayton de gas, debido a que se produce el cambio de fase gaseosa a líquida, esto supone una disminución del consumo energético para incrementar la presión del agua, teniendo en cuenta que en dicha fase líquida es incompresible (Guillem, 2020).

Los ciclos de CO_2 supercrítico combinan las ventajas del ciclo Rankine y del Brayton, esto se debe a que el CO_2 cuando se encuentra por encima de su punto crítico (30.98ºC,7.38MPa) al igual que el agua en fase líquida es también incompresible, por lo que se consigue el ahorro energético antes mencionado. Pero con la ventaja añadida de que el dióxido de carbono es menos corrosivo que el agua, y al trabajar con presión positiva evita los ingresos de aire en el sistema (Guillem, 2020).

Hay diferentes disposiciones para conformar un ciclo Brayton supercrítico de CO2 (Y.Ahm, et al., 2015). En este proyecto el ciclo de potencia a utilizar es el ciclo Brayton cerrado con recompresión y recalentamiento, como se muestra en el diagrama de la Imagen 3.2.

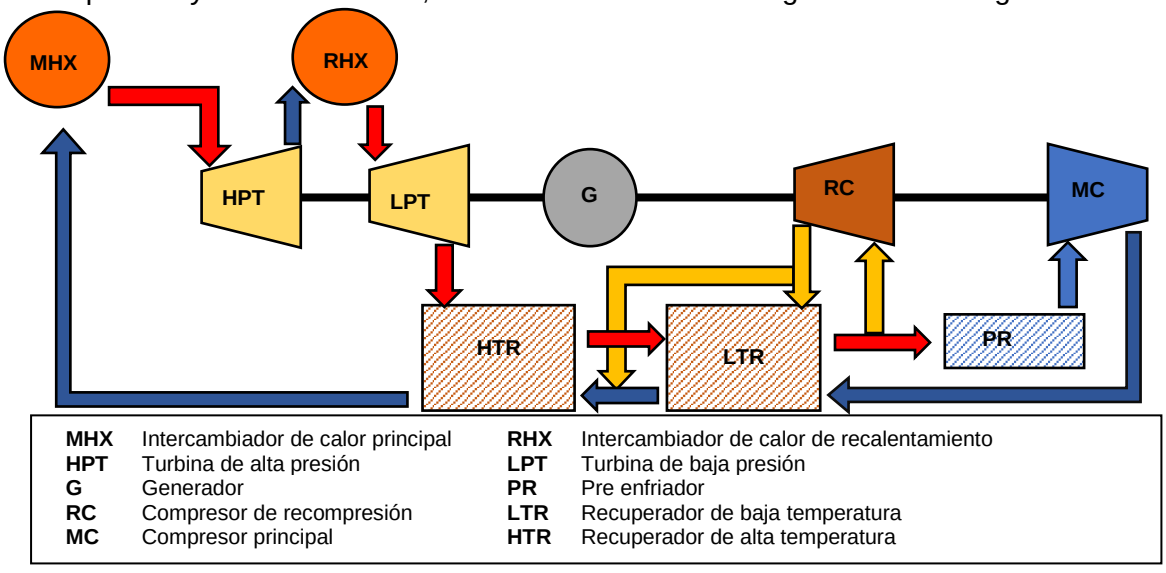

Imagen 3.2 Esquema ciclo Brayton cerrado de recompresión y recalentamiento (Valencia-Chapi, et al., 2020)

Se elije este ciclo, pese a que configuraciones más sencillas tienen un coste inicial inferior al requerir de menos equipos, como por ejemplo el ciclo de recuperación, pero tienen un peor rendimiento lo que implicaría incrementar la potencia instalada, es decir, aumentar el tamaño del campo solar y el de la caldera de biomasa, disparando el coste constructivo de forma significativa.

Según se muestra en el trabajo de (Valencia-Chapi, et al., 2020), que compara cuatro ciclos posibles, con diferente capacidad de almacenamiento térmico en el sistema, tal y como se puede observar en la Imagen 3.3. El ciclo que presenta un mejor rendimiento es el de recompresión con recalentamiento.

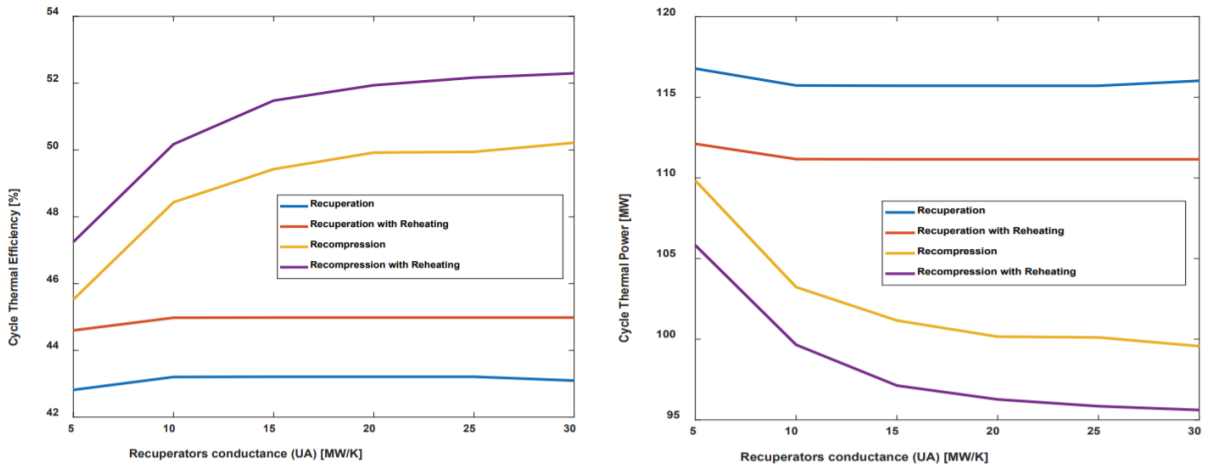

Imagen 3.3 Rendimiento y potencia térmica respecto a la unidad almacenamiento. (Valencia-Chapi, et al., 2020)

3.6 La Mina De Bitcoin

Es en la mina donde se transforma la energía eléctrica y térmica en criptomonedas. Para ello se requieren minadores, en este propone la utilización del ASIC (de sus siglas en inglés: Circuito Integrado para Aplicaciones Específicas) *BITMAIN AntMiner S19 Pro* que es el más potente y eficiente del mercado.

Este modelo tiene una velocidad de hash de 110 TH/s, por un consumo eléctrico a 25ºC de 3250±5% Watios.

Para que estos minadores ASIC, funcionen de forma eficiente la temperatura de la mina debe ser constante, entre los 10 y 25ºC, según recomendaciones del fabricante. Para conseguir estos parámetros se propone que la instalación donde se encuentren los minadores sea subterránea, y con vegetación frondosa en la superficie inmediatamente superior de la mina,

con el objetivo de reducir la variación de temperatura a lo largo del día la noche y durante todo el año.

Además, la instalación será refrigerada mediante ventiladores de entrada con el aire del exterior aire que debe ser filtrado para evitar la acumulación de polvo en los equipos de minado ASIC. Este flujo de aire será enfriado tras pasar por el evaporador de la máquina de absorción. Aire frio que debe tener el mismo sentido que la ventilación que la incorporada en las propias unidades de minado.

Para que la refrigeración de estas unidades sea aún más eficaz, se instalarán ventiladores a la salida del aire caliente generado por las citadas unidades, aire caliente que se aprovechará como se ha mencionado anteriormente en el apartado 3.4, para evitar la condensación en los silos de almacenamiento de biomasa.

Esta refrigeración es fundamental para el proceso de minado. El flujo debe ser suficiente para mantener siempre la temperatura de aire de entrada a las unidades entre los ya citados 10 y 25ºC. Hay que tener en cuenta que prácticamente la totalidad de la potencia eléctrica consumida por estas unidades es convertida en calor, en otras palabras, una unidad como la de referencia que tiene un consumo de 3250 Watios, debe ser tratado como un calefactor eléctrico de dicha potencia.

En la siguiente Imagen 3.4, se puede apreciar de forma esquemática cómo sería la disposición de la mina. Ya se ha mencionado anteriormente que es subterránea, y si la tierra desplazada

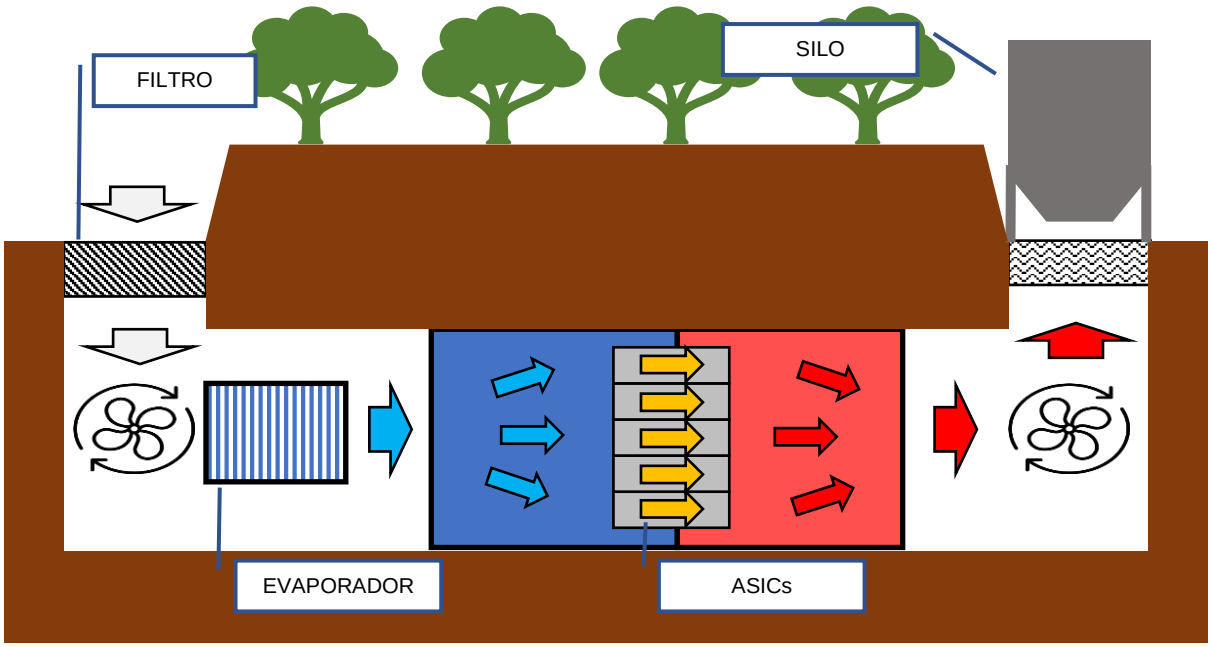

Imagen 3.4 Esquema de la disposición de los elementos principales y flujo de refrigeración de la mina de Bitcoin (elaboración propia).

para la instalación de la mina extiende sobre la superficie de la cubierta con el fin de aumentar dicho aislamiento se evitará la necesidad de excavar a mayor profundidad.

3.7 Las Cenizas

Tal y como se ha descrito, para operar esta planta de minado de Bitcoin, se utilizaría la energía del sol junto con la procedente de la combustión de la biomasa, que es considerada de carácter renovable (Fernández, 2003), pero no hay que eludir que tiene una contrapartida importante, que son las cenizas generadas por la combustión de la citada biomasa.

En pleno siglo XXI minimizar los residuos que genera cualquier actividad humana es vital, y la reutilización de lo que antaño se consideraba un desperdicio ahora se ha convertido en una necesidad, por lo tanto, uno de los objetivos fundamentales de esta planta, es reducir al mínimo los residuos que pueda producir. Y como las cenizas son el principal producto de desecho, es clave encontrar los posibles usos que éstas puedan tener.

Uno de ellos sería el agrícola, el cual presenta importantes ventajas sobre todo en aquellos terrenos ácidos, debido a que la ceniza puede fijar el pH, además de aportar nutrientes importantes como el fosforo y el potasio entre otros muchos. Pero también presenta algunas desventajas, la principal es la presencia de metales pesados en las mismas, aunque se encuentran en cantidades dentro de los límites de seguridad, un uso excesivo o prolongado en el tiempo puede ser perjudicial para el medio ambiente, ya que dichos metales pueden acabar filtrándose en el agua (Basu, et al., 2009).

Otro uso potencial de las cenizas sería en la industria cementera y hormigonera, debido a la composición tanto química como mineralógica, es capaz de reemplazar un porcentaje del ingrediente principal de los cementos y hormigones: el Clinker, un producto obtenido a partir de la calcinación de caliza (Cemex, 2021) (Belviso, 2018).

Pero tal vez el uso más prometedor de las cenizas provenientes de la biomasa, pero todavía apenas explorado, seria para la síntesis de zeolitas, gracias a su estructura química y mineralógica anteriormente citada (Belviso, 2018).

Por lo tanto, en esta planta se propone destinar el 7.5% de los beneficios obtenidos en investigar tecnologías para la reutilización de las cenizas de la biomasa con el fin de conseguir reducir el impacto en el medio ambiente de la planta. Si alguna de las tecnologías consigue desarrollarse ésta puede ser comercializada a otras centrales y ser una fuente de ingresos adicional.

3.8 Financiación de la planta y la mina de Bitcoin

Este proyecto propone una idea de generación de riqueza propia del siglo XXI, y por lo tanto debe incorporar dinámicas de financiación emergentes, interactivas y colaborativas. Partiendo de estas premisas en vez de acudir a las fuentes clásicas de financiamiento (bancos, ayudas gubernamentales, etc.), se aplicarán las tecnologías *blockchain*, la *tokenización* y los *smart contracts*

El primer paso es realizar un estudio de mercado; a continuación, se creará un *white paper,* que no es más que una explicación detallada a los inversores de este proyecto, además siempre es conveniente la creación de una página web que publicite y explique el proyecto, en la que es importante que contenga un calendario que establezca los plazos de lanzamiento, la ejecución de las distintas fases del proyecto, y demás información relevante. Un ejemplo de un calendario sería el de la Imagen 3.5

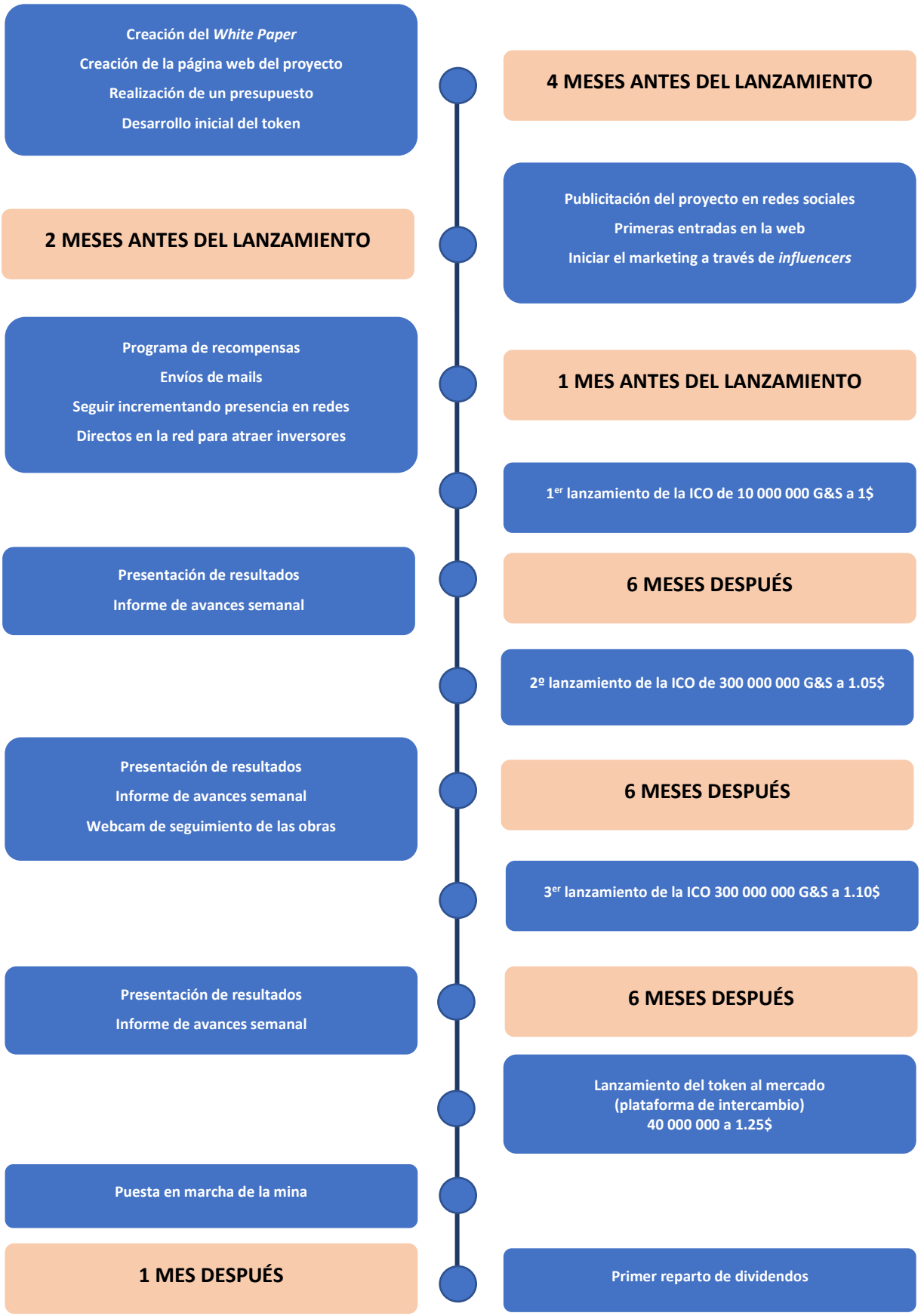

Imagen 3.5 Calendario de financiación y lanzamiento del Token G&S (elaboración propia)

El siguiente paso es la creación del token, para este proyecto y para simplificar entre la multitud de posibilidades y bases en las que se puede realizar, se elige la creación de un ERC-20 [2]: Esto es un contrato inteligente que se ejecuta en el *blockchain* de Ethereum, estos funcionan dentro de un marco de programación establecido por el equipo de Ethereum. Un marco amplio capaz de permitir los suficientes usos sin interrumpir el funcionamiento de la red. Esto significa, que los tokens ECR20 pueden llevar su propia contabilidad, garantizando la transparencia, la trazabilidad y la seguridad que proporciona la red Ethereum.

A continuación, se describe de forma simplificada y a modo de ejemplo, como podría emplearse esta tecnología para financiar el proyecto.

Suponiendo que este proyecto precisase recaudar 650 millones de dólares para financiar la construcción de la planta de energía híbrida termosolar-biomasa, la mina de Bitcoin y la puesta en marcha de ambas. Por lo que se crea un token (una moneda), a la que se le pone un nombre. En este proyecto será *Green&Solar*, y con la abreviatura G&S. Este se configura para que solo existan 650 millones de unidades de este token.

Durante la fase de creación del token, aunque se puede realizar previamente, hay que publicitar el token, junto con la idea que hay detrás del token. Ya bien sea a través de redes sociales, SEO[3], foros e *influencers* especializados en este tipo de proyectos. Esta es la fase de captación de inversores a nivel global y en la que se busca generar expectación entorno al token.

Para la financiación inicial del proyecto se hace un ICO (*Initial Coin Offering*), ofrecimiento inicial de la moneda, en este caso ofrecería 10 000 000 de G&S (el token del proyecto) a un precio de 1$ por token. Un ofrecimiento inicial significa que el que adquiere este token no puede aún intercambiarlo hasta que se finalice la fase ICO.

En este caso para poder iniciar la construcción de la planta y la mina propuesta, el ICO no finalizará hasta que no se vendan todos los tokens ofrecidos, ya que, sin esta financiación inicial que incluye la adquisición de terrenos es imposible seguir adelante con el proyecto.

Suponiendo que se ha concluido la venta de tokens, y por lo tanto conseguido la financiación inicial requerida, se hace un segundo ICO para financiar la primera fase de la construcción ofreciendo 300 millones de G&S, pero el precio de venta para los que ya adquirieron G&S en

[2] ERC-20: *Etherum Request for Comments*; Solicitud de Comentarios para Ethereum y el número 20 es el número de propuesta de mejora, la versión del programa.
[3] *Search Engine Optimization;* Optimización de los Motores de Búsqueda, con el objetivo de conseguir un mejor posicionamiento y visibilidad en internet en los resultados orgánicos de los diferentes buscadores

el primer ICO es de 1$, y para los nuevos inversores será de 1.05$, de esta forma se recompensa a aquellos que apostaron por el proyecto cuando el riesgo de que éste no se realizase era mayor.

Mismo procedimiento para la financiación de la segunda fase de construcción, poniendo el precio del G&S a 1$ para aquellos que invirtieron desde el primer ICO, de 1.05$ para aquellos que lo hicieron en el segundo ICO y de 1.10$ para los nuevos inversores.

En el caso de que alguna de las diferentes fases ICO no se lograsen completar, se devuelve el dinero no invertido a los compradores de G&S. Es decir, si en la primera fase de ICO que el objetivo era 10 000 000$, solo se consiguen vender 8 000 000 de G&S, y se han realizado estudios y trámites burocráticos por valor de 4 000 000$, siendo esta una inversión no reembolsable, se les devuelve a los poseedores de G&S 0.5$ por G&S que tengan.

Si los ICO se han conseguido de forma satisfactoria hasta este punto, el token se abre al mercado, poniendo a la venta los 40 millones restantes de G&S en un portal de intercambio de tokens, a un precio de salida de1.25$, es en este momento, es cuando los poseedores ya pueden vender sus tokens, al haber concluido la fase ICO.

Esto supone poner el G&S en el mercado, por lo que, a partir de este momento, el precio del G&S será determinado por la oferta y la demanda. Esto puede provocar que el precio del token baje si no es atractivo para los inversores, para hacerlo atractivo se reparten los beneficios del minado de criptomonedas de forma mensual, desde el primer mes de funcionamiento de la mina, y de forma proporcional a la cantidad de G&S que tenga la dirección, de forma similar a un dividendo por una acción, poniendo como ejemplo el siguiente:

> *Si en un mes se obtienen 100 ₿ de beneficios en la mina, el 50% de estos Bitcoins serán para los inversores por lo que un poseedor del 1% del total de tokens G&S que haya en circulación, Juan recibiría 0.5 ₿.*

Si el proceso de financiación ha sido fructífero, lo más probable es que muchos de estos tokens fuesen vendidos por más de 1$, debido a que, en el segundo y en el tercer ICO el precio del token para aquellos que no habían comprado en el primer ofrecimiento era de 1.05 y 1.10$ respectivamente, a lo que hay que sumar que los últimos 40 millones salieron al mercado 1.25$.

Estos beneficios adicionales generados por el token serán repartidos de forma indirecta entre los inversores. Debido a que se dispone de más dinero fiduciario para abordar gastos corrientes de la mina, como salarios del personal y no se hace necesario vender tantos

Bitcoins para afrontar dichos gastos, por lo tanto, hay más Bitcoins disponibles para repartir entre los inversores.

Para atraer a la inversión hay que generar confianza, y eso se consigue mediante la transparencia en todo momento del proceso. Empezando por tener las cuentas abiertas en internet, publicando y explicando todos los avances y retrasos del proyecto, es más, el propio token en sí mismo que es un ERC 20, debe de ser una garantía en sí misma, porque es un contrato de cumplimiento automático, lo que se conoce como un *smart contract*,

Además, se recomienda que mediante las nuevas tecnologías se hagan comparecencias semanales, en las que se pueda interactuar de forma telemática con cualquier inversor, o futuro inversor, para aclarar cualquier duda que puedan tener.

La instalación webcams en la zona de construcción, para que cualquiera pueda ver los avances en las obras de construcción de la planta y de la mina. Esto son ejemplos de transparencia que es capaz de generan la confianza necesaria para atraer el capital.

De esta forma, el inversor, el poseedor de G&S es el primer interesado en conseguir que los ICO se completen y que cuando salga al mercado el precio no baje, con el fin de que el proyecto se pueda realizar y obtener los beneficios que se reparten de forma mensual entre aquellos que tienen tokens G&S.

Esta forma de financiación, mediante tokens basados en criptomonedas, está funcionando para proveer del capital necesario a diversos proyectos y *start ups,* y esto se debe a que es una forma que se adapta perfectamente a las necesidades de cada empresa, es una idea innovadora que podría hacer que este trabajo fin de máster se convierta en realidad.

4 ANÁLISIS

4.1 Central Híbrida Termosolar-Biomasa Vendiendo La Electricidad A La Red Eléctrica En El Mercado Español

Con los métodos descritos hasta ahora, se estimarán los costes y el periodo de retorno de la inversión, comparando éstos en el caso de que la electricidad obtenida sea vendida a la red eléctrica, o sea empleada para minar Bitcoins.

Para esto es importante conocer el LCOE de la central propuesta, de sus siglas en inglés, *Levelized Cost of Energy*. Que es el valor del coste total actual de construir y operar una instalación generadora de energía a lo largo de toda su vida útil, resultando un valor en dólares por megavatios hora (EnergyaVM, 2020). Este coste se calcula mediante la Ecuación 4.1

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^{n} \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{n} \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

LCOE	*Levelized cost of Energy*	*$/MWh*
I_t	*Inversión en el primer año*	*$*
M_t	*Costes de mantenimiento en el primer año*	*$*
F_t	*Costes de combustible en el primer año*	*$*
E_t	*Energía generada en el primer año*	*MWh*
n	*Periodo de vida de la planta*	*Años*
r	*Tasa de descuento*	

Ecuación 4.1 LCOE

En la central de referencia utilizada en el trabajo de (Guillem, 2020), propone diferentes configuraciones de centrales hibridas termoslar-biomasa, con distintas capacidades de almacenamiento térmico de la energía solar. En este caso solo compararemos la central de referencia del proyecto presentado en este trabajo, con la que no tiene unidad de almacenamiento del trabajo (Guillem, 2020).

Según el estudio (Valencia-Chapi, et al., 2020), el periodo de retorno más favorable vendiendo la electricidad a la red, con la legislación española, se obtiene con una capacidad de almacenamiento térmico de 14 horas, que es de poco más de 8 años. Pero en las conclusiones de este mismo estudio, si se aplica el mismo precio independientemente de la fuente de energía utilizada para la generación de electricidad, el periodo de retorno más bajo es en aquellas plantas sin unidad de almacenamiento.

En este proyecto se requiere electricidad para generar criptomonedas, y el precio de éstas no varía en función de la fuente energética utilizada, por lo que no es necesaria una unidad de almacenamiento térmico, ya que este supondría un coste adicional innecesario.

Tanto el estudio (Valencia-Chapi, et al., 2020) y el trabajo (Guillem, 2020) utilizan un ciclo de CO_2 supercrítico con recompresión y recalentamiento como el descrito en este proyecto, la finalidad es comparar estos estudios y su periodo de retorno si en vez de vender a la red se emplea esa misma electricidad en el minado de criptomonedas, y destinar los beneficios para poder pagar un precio lo suficientemente atractivo para que fuese rentable el transporte de los restos de poda a la planta.

Los parámetros calculados por (Guillem, 2020) para una planta híbrida termosolar-biomasa son:

Parámetro	Nomenclatura	Valor	Unidades
Potencia nominal	P	50	MW
Potencia nominal neta	P_N	45	MW
Potencia térmica del ciclo	P_{th}	97.13	MWth
Rendimiento térmico	η_{th}	51.48	%
Conductancia de los recuperadores de calor	UA	15	MW / K
Horas de almacenamiento térmico	H	0	Horas
Tamaño del campo solar	A_{cs}	269 624	m2
Múltiplo Solar	SM	1.24	-
Potencia máxima del receptor	P_{rev}	119.97	MWth
Altura de la torre	H_{torre}	81.67	m
Área del receptor	A_{rev}	663.59	m2
Potencia de la caldera de biomasa	P_{cald}	113.64	MWth
Consumo biomasa anual	$\dot{m}_{comb}$	172 730	Toneladas/año
Coste instalación grupo termosolar		92.84	M$
Coste instalación grupo biomasa		288.83	M$
Coste del bloque de potencia		48.03	M$
Coste total de la central híbrida		429.7	M$
Coste de operación del grupo termosolar		3.74	M$/Año
Coste operación del grupo de biomasa		6.57	M$/Año
Coste de la biomasa		7.15	M$/Año
Coste total de la central híbrida más costes de operación el 1er año		447.16	M$
LCOE		153.48	$/MWh

Tabla 4.1 Relación de parámetros técnicos y costes de la planta híbrida optimizada de (Guillem, 2020).

De esta tabla podemos obtener varios resultados significativos, el LCOE que tiene un valor de 153.48$/MWh, esto significa que con un contrato FORWARD de 100 €/MWh, según el propio estudio de (Guillem, 2020) tiene un periodo de retorno de 18.72 años, teniendo en cuenta que la central tiene una vida de útil de 25 años, solo generaría beneficios durante los últimos 6 años, siendo este escenario poco favorable para la inversión

Si bien es cierto que si se le añade una unidad de almacenamiento térmico y la electricidad se vende de acuerdo con la legislación española, que paga 239.61€/MWh más el precio del mercado eléctrico español, pero esto es solo por la electricidad que se produce mediante energía termosolar y almacenamiento de esta, en este caso el periodo de retorno se reduce a 8.08 años. Sin embargo, el coste total de la central híbrida más costes de operación del primer año, pasa a ser de 447.16 M$ a 650.46M$. Esto supone que se debe incrementar la inversión en 203.3M$ para obtener un periodo de retorno razonablemente atractivo para la inversión.

4.2 Central Híbrida Termosolar-Biomasa Utilizando La Electricidad Producida Para El Minado De Bitcoin

Utilizando los datos de la central anteriormente descrita en la Tabla 4.1, de la central híbrida termosolar-biomasa sin almacenamiento térmico, despreciando las posibles variaciones que pueda sufrir el LCOE (153.48$/MWh) en función de la ubicación de la planta.

Se calcula el LCOB (*Levelized Cost of Bitcoin*), es decir, el coste que supone minar un Bitcoin con el LCOE más el coste de la mina, teniendo en cuenta la eficiencia de la misma, así como la recompensa y dificultad del minado. Por lo tanto, si el LCOB obtenido es superior al coste de mercado de un Bitcoin, la mina y la planta no serían rentables para este propósito.

$$LCOB = \frac{CAPEX + \sum_{t=1}^{n} \rho\gamma Ec}{\sum_{t=1}^{n} \frac{\beta\rho}{\delta}\theta} \sum_{t=1}^{n} \frac{100}{100 - fi}$$

LCOB	*Levelized cost of Bitcoin*	*$/₿*
CAPEX	*Coste de inversión de la mina*	*$*
ρ	*Poder de hash de la mina*	*TH/s*
γ	*Eficiencia de los minadores*	*J/TH*
Ec	*Coste de generación de electricidad en la planta*	*$/MW*
n	*Periodo de vida de la mina*	*Años*
fi	*Comisión del pool*	*%*
β	*Recompensa*	*₿/Block*
δ	*Dificultad de minado*	*TH/Block*
θ	*Constante dimensional del algoritmo de minado*	

Ecuación 4.2 LCOB (Rusovs, et al., 2018)

En la central descrita anteriormente tiene una potencia neta de 45MW, para calcular la potencia de minado se toma una potencia disponible de 40MW, suponiendo 5 MW los consumos de ventiladores de la mina, variaciones de consumo de los propios equipos de minado y componentes auxiliares (iluminación, sala de control, etc…).

Hay que tener en cuenta que la refrigeración no supone un coste energético adicional más allá del consumo de bombas que se desprecia, debido a que la energía es obtenida para tal fin en el ciclo de potencia.

En la mina se instalarán los equipos de minado *Bitmain Antminer S19 Pro* que tienen las siguientes especificaciones:

Cripto algoritmo / monedas	SHA 256 / BTC / BCH
Tasa de Hash	110 TH/s
Consumo	3250±5% W
Eficiencia	29.5±5% J/TH
Dimensiones	370x195.5x290 mm
Peso neto	13.2 kg
Precio (euro-miners.com, 2021)	7 000 €
Vida útil estimada	5 años

Tabla 4.2 Especificiaciones del Bitmain Antminer S19 pro (Bitmain, 2020)

Para calcular el CAPEX el de la Ecuación 4.2, es necesario saber los siguientes costes:

$$CAPEX = Costes\ de\ los\ ASICs + Coste\ de\ la\ instalación + Costes\ de\ personal\ (5\ años)$$

Para calcular el coste los ASICs, es necesario saber el número de minadores que se pueden instalar, teniendo en cuenta que los *Bitmain Antminer S19 pro* tienen un consumo de 3.25kW y la potencia neta de la instalación es de 40MW (40 000kW).

$$Número\ de\ minadores = \frac{Potencia\ neta}{Consumo\ de\ cada\ miandor} = \frac{40\ 000kW}{3.25\ kW} = \mathbf{12\ 307.7}\ Minadores$$

Ecuación 4.3 Número de minadores

Para redondear se instalarán en la mina 12 000 unidades ASIC de minado *Bitmain Antminer* S19 Pro.

Por lo que el coste de los equipos de minado es:

$$12\ 000\ x\ 7\ 000 = \mathbf{84\ 000\ 000}\ €$$

$$84\ 000\ 000\ € = \mathbf{100\ 800\ 000}\ \$$$

4.4 Ecuación conversión coste minado de Euro a Dólar (cotización a 21 de abril del 2021) (XE, 2021)

Para el cálculo de los costes de la instalación, un coste asociado es el movimiento de tierras asociado al soterramiento de la instalación, con el fin de saber el volumen de tierra a desplazar se calcula el espacio ocupado por las unidades de minado, al que hay que añadir un espacio entre unidades para soportes y permitir la circulación de aire entre los equipos, así como un espacio suficiente para que todos los equipos sean accesibles por parte de los operarios.

Para calcular este volumen ocupado por la mina se toman las dimensiones del *Bitmain Antminer S19 pro* y se añaden 10mm a cada dimensión, un pasillo de un metro en la parte anterior de los equipos y otro pasillo de un metro en la parte posterior de los mismos, y un pasillo de un metro para pasar de la zona anterior a la posterior. Para facilitar la estructura de la mina se conforma mediante contenedores marítimos de 53 pies (16.1x2.63x2.7m). Esto se puede apreciar en la Imagen 4.1.

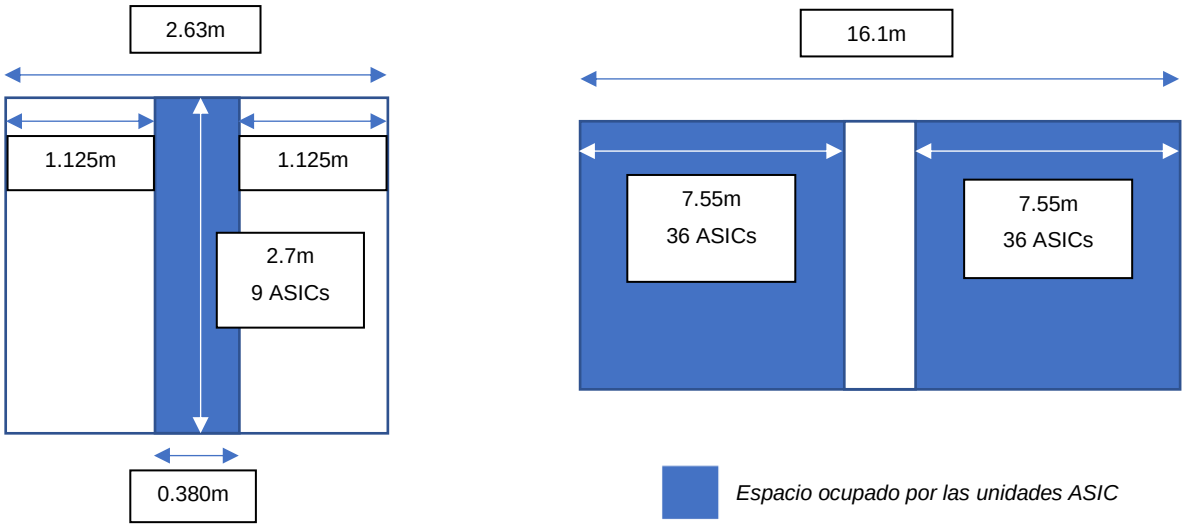

Imagen 4.1 Dimensiones de los bloques de la mina de BTC

Por lo que cada contenedor tiene la capacidad de tener **648** (9x(36+36)) equipos de minado, eso significa que para albergar los 12 000 ASICs se requieren 18.5 → 19 contendores marítimos de 53 pies, esto significa un volumen de 2127m^3(114.33 x 19).

La mina esta soterrada a 2 metros de profundidad por lo que el volumen total de tierra a desplazar es la superficie de la mina por la altura de la misma, más la profundidad de soterramiento, por lo que hay que desplazar 3 781.36 m^3 de tierra.

Aplicando los costes de este desplazamiento de tierras que es de 5.37€/m^3 (Suponiendo suelo cohesivo de arcilla semidura) (CYPE ingenieros, S.A., 2021).

$$3\,781.36\ x\ 5.37 = \mathbf{20\,305.90}\ € \rightarrow \mathbf{24\,367.08}\$$$

Para el terraplenado de la mina con material de la propia excavación y con un grado de compactación del 95% en cimiento del terraplén el coste por metro cúbico es de 9.20€/m^3 (CYPE ingenieros, S.A., 2021).

Por lo que el coste de rellenado y creación del terraplén es de:

$$3\,781.36\ x\ 9.20 = \mathbf{34\,788.51}\ € \rightarrow \mathbf{41\,746.21}\ \$$$

El coste de un contendor marítimo nuevo es de 11 000$ (Made-in-china, 2021) por lo que el coste de la estructura de la mina es de

$$11\,000\ x\ 19 = \mathbf{209\,000}\ \$$$

Por lo que los costes de la instalación en dólares son:

$$Costes\ de\ movimiento\ de\ tierras + terraplen + estrutura = Costes\ de\ la\ instalación$$

$$24\,367.08 + 34\,788.21 + 209\,000 = \mathbf{275\,113.29}\ \$$$

Ecuación 4.5 Costes instalación de la mina

A este presupuesto se le añade un 15% para imprevistos he instalación de componentes con lo que da un coste total de construcción de la mina de **316 380.28$**.

Los costes asociados al personal proponiendo la siguiente plantilla con sus salarios correspondientes son:

Cargo	Cantidad	Salario anual ($)
Jefe de Mina	1	50 000
Supervisores de turno	3	42 000
Técnicos informáticos de mantenimiento	2	42 000

Por lo que el coste de personal durante el periodo de estudio que es de 5 años, la vida útil de los equipos de minado es de:

$$(50\,000x1x5) + (42\,000\ x\ 5\ x5) = \mathbf{1\,300\,000}\ \$\ \boldsymbol{en\ 5\ años}$$

Por lo que el CAPEX de la mina es:

$$CAPEX = Costes\ de\ los\ ASICs + Coste\ de\ la\ instalación + Costes\ de\ personal\ (5\ años)$$

$$CAPEX = 100\,800\,000 + 316\,380 + 1\,300\,000 = \mathbf{102\,416\,300}\ \$$$

Ecuación 4.6 CAPEX de la mina

Se calcula el poder hash de la mina (ρ) que es:

$$\rho = 12\,000\ \ \mathrm{x}\,110\frac{\mathrm{TH}}{\mathrm{S}} = \mathbf{1\,320\,000\ TH/S}$$

Ecuación 4.7 Poder de Hash de la mina

La eficiencia (γ) según el fabricante es de:

29.5 J/TH.

El Ec se aplica el de la central de referencia que es de 153.48 $/MW que en vatios es:

$1.5348 \cdot 10^{-4}$ $/W

Con el numerador de la fórmula de LCOB definido, que dará el coste total en dólares del minado durante 5 años, se define ahora los parámetros del denominador.

La recompensa por bloque (β) actualmente es de:

6.25฿/Bloque (Btc.com, 2021)

La dificultad de minado (δ) a 21 de abril del 2021 es de:

≈23.582 Teras/Bloque (Btc.com, 2021)

Y la constante (θ) que normaliza el espacio dimensional para el tiempo diario y el algoritmo de minado.

0.00002012 (Rusovs, et al., 2018)

Definido el denominador, que indicará el número de bitcoins minados en los próximos 5 años.

En la siguiente parte de la fórmula se tiene en cuenta las comisiones que hay que abonar por pertenecer a un pool de minado, que se toma como referencia la comisión de poolin.com, que es de:

2.5% (Poolin, 2021)

Y la (n) del sumatorio es de 365 días por 5años.

1825

Añadiendo estos valores a la fórmula del LCOB se obtiene el coste de que tiene la planta para minar un ฿.

$$LCOB = \frac{CAPEX + \sum_{t=1}^{n} \rho\gamma Ec}{\sum_{t=1}^{n} \frac{\beta\rho}{\delta}\theta} \sum_{t=1}^{n} \frac{100}{100 - fi}$$

LCOB	*Levelized cost of Bitcoin*	*$/฿*
CAPEX	***102 416 300***	*$*
ρ	***1 320 000***	*TH/s*
γ	***29.5***	*J/TH*
Ec	**$1.5348 \cdot 10^{-4}$ $/W**	*$/MW*
n	***1825***	*Días(5años)*
fi	***2.5***	*%*
β	***6.25***	*฿/Block*
δ	***23.582***	*TH/Block*
θ	***$2.012 \cdot 10^{-5}$***	

Ecuación 4.8 LCOB (Rusovs, et al., 2018)

Al introducir los datos en la ecuación, se obtiene que los costes de instalación y operación de la mina durante 5 años son de:

113 323 432.9 $

La cantidad de bitcoin producidos en 5 años, con la dificultad actual es de:

12 769.27 ₿

Por lo que aplicando las comisiones del pool de minado de *poolin* el coste hacer un Bitcoin en esta planta es de:

9 102.26 $/₿

Primero se calcula la ganancia bruta por Bitcoin minado.

$$Precio\ de\ mercado\ del\ ₿ - Precio\ de\ coste\ minado\ de\ ₿ = Beneficio\ por\ bruto\ por\ ₿\ minado$$

Precio de mercado del a 20 de abril del 2021: 56 623.75$ (Coingecko, 2021)

$$56\ 623.75\$ - 9\ 102.26\$ = \mathbf{47\ 521.49}\$$$

Para calcular la ganancia neta hay que restarle el 20% en impuestos, según legislación española al aplicarse el impuesto de actividades económicas. (Agencia tributaria, 2021). Por lo que el beneficio neto por Bitcoin es de:

$$\mathbf{38\ 017.19}\$$$

Ecuación 4.9 Ganancias netas por Bitcoin minado

Para saber cuánto tiempo se tarda en amortizar la inversión inicial de la planta y la mina en su conjunto, y se divide entre el beneficio obtenido por Bitcoin.

$$\frac{Coste\ mina + 1^{er}año + Coste\ planta +\ 1^{er}año}{Beneficio\ por\ ₿\ minado} = ₿\ a\ minar\ para\ amortizar\ la\ inversión$$

Ecuación 4.10 Bitcoins necesarios para amortizar la inversión

Para calcular los costes de funcionamiento del primer año de la mina se utiliza la parte del numerador de la Ecuación 4.8 cambiando el valor de *n* a 365, que son los días en un año, y en el apartado del CAPEX el coste de los salarios del personal es el anual.

$$CAPEX + \sum_{t=1}^{365} \rho\gamma Ec = Coste\ de\ la\ mina\ más\ los\ del\ primer\ año\ de\ funciamiento$$

$$101\ 376\ \ 380 + 2\ 181\ 426.56 = \mathbf{103\ 557\ 806.6}\$$$

Ecuación 4.11 Coste la mina más el primer año de funcionamiento

Ahora con los datos del coste de mina y de funcionamiento en el primer año y conociendo los costes de construcción y gastos de la planta de energía durante el primer año (Tabla 4.1), calculamos los Bitcoins necesarios para amortizar la inversión.

$$\frac{103\ 557\ 806.6 + 447\ 160\ 000}{38\ 017.19} = \mathbf{14\ 486.02}\ ₿$$

Se calcula la cantidad de años necesarios para minar, para tal propósito se opera el denominador de la Ecuación 4.8 LCOB (Rusovs, et al., 2018)Ecuación 4.8, poniendo el valor de n=1, obteniendo el resultado de bitcoins minados en un día:

$$\sum_{t=1}^{1} \frac{\beta\rho}{\delta}\theta = ฿\ minados\ en\ un\ día = \mathbf{7.04}฿$$

Ecuación 4.12 Bitcoin minados por día

Ahora para obtener el periodo de retorno de la inversión dividimos los Bitcoins necesarios para amortizar la inversión y los Bitcoins que se minan al día:

$$\frac{14\ 486.02}{7.04} = 2\ 057.7\ días = \mathbf{5.64}\ \boldsymbol{a\tilde{n}os}$$

Ecuación 4.13 Periodo de amortización de la inversión de la mina de Bitcoin

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El primer resultado que se obtiene al comparar el periodo de amortización de la mina de Bitcoin, con los datos con el trabajo de (Valencia-Chapi, et al., 2020) es que en el caso más favorable con el almacenamiento térmico tienen un periodo de retorno de 8.08 años y con una inversión inicial y de funcionamiento del primer año de 650.46M$ frente a los a 550.72 que cuestan la planta junto con la mina de Bitcoin. Es decir, no solo requiere una inversión menor que el almacenamiento térmico, sino que además ésta se amortiza antes.

Teniendo en cuenta los datos expuestos hasta ahora, y sin perder de vista el objetivo de este trabajo, que es conseguir eliminar los residuos de biomasa de los campos para evitar incendios forestales, a la vez que se genera riqueza en el entorno de la planta. Se hace necesario hacer partícipes de los beneficios obtenidos a todos los agricultores, particulares, empresas e instituciones, que han aportado su biomasa, para ser transformada en energía eléctrica, y esta a su vez se ha transformado en Bitcoins.

El reparto de beneficios debe incluir a los inversores, es decir, a los compradores y poseedores de tokens G&S (3.7), ya que son estos los que arriesgando su capital han hecho que la planta sea una realidad. Por lo tanto, son los que más beneficios deben de obtener, y de esta manera se contribuye a que el token creado para financiar el proyecto, el G&S sea un activo más atractivo para la inversión.

Otro objetivo del proyecto es generar los Bitcoins con el menor impacto medio ambiental posible, y como se ha explicado uno de los principales problemas de la combustión de la biomasa son las cenizas, por lo que una parte de los beneficios debe ser destinada a la investigación para dar un uso productivo a este residuo.

Ya bien sea para la sintetización de zeolitas, hacer experimentos en los campos, bosques y jardines para conocer en qué medida se pueden utilizar, o como ingrediente en cementos y hormigones. Estas investigaciones requieren financiación, que además si llegan a buen término se pueden a ser otra fuente ingresos, por reducción de los residuos generados, patentes, o venta de la tecnología desarrollada a otras centrales de biomasa.

Por lo tanto, se propone repartir las ganancias durante la vida útil de la planta (25años) de forma mensual, tanto a los que aportan biomasa, a los inversores, empleados (dentro del plan de bonificaciones), investigación de uso de las cenizas y provisión de fondos. Quedando distribuidos de la siguiente forma:

Beneficiarios	Porcentaje de los beneficios
Inversores (Poseedores de tokens G&S)	50%
Aportadores de biomasa	30%
Empleados	2.5%
Investigación usos de las cenizas	7.5%
Provisión de fondos	10%

Para establecer los beneficios a lo largo de los 25 años estipulados como vida útil de la planta. Primero se calcula el CAPEX durante 25 años, al que hay que añadir el coste de renovación de los equipos de minado cada 5 años y el coste de construcción de la planta termosolar-biomasa.

$$C_{cp} + C_{cm} + \left((C_{opm} + C_{opp})x25\right) + (C_{em}x5) = CAPEX_{25}$$

C_{cp}	Coste construcción planta
C_{cm}	Coste de construcción mina (sin ASICs)
C_{opm}	Costes operativos mina
C_{opp}	Costes operativos planta
C_{em}	Coste de ASICs
$CAPEX_{25}$	Costes totales durante 25 años

$$429\,700\,000 + 316\,380 + ((2\,181\,426 + 17\,460\,000)x25 + (100\,800\,000x5) = \mathbf{1.425 \cdot 10^9}\$$$

Ecuación 5.1 CAPEX 25 años

Ahora aplicando la Ecuación 4.2 (LCOB) se calculan tanto los bitcoins totales minados durante 25 años, así como el coste de minado durante la vida útil de la instalación.

$$LCOB_{25años} = \frac{1.425 \cdot 10^9 + \sum_{t=1}^{9125} \rho\gamma Ec}{\sum_{t=1}^{9125} \frac{\beta\rho}{\delta}\theta} \sum_{t=1}^{n} \frac{100}{100 - fi}$$

Ecuación 5.2 LCOB 25 años

De esta ecuación se pueden obtener los siguientes datos:

Bitcoins minados en 25 años = 64 229.4₿

$LCOB_{25años}$ = 23 618.5$/₿

Beneficio bruto por Bitcoin = 33 004.5$

Beneficio neto por Bitcoin (después de impuestos 20%) = 26 403.6$

Bitcoins (con impuestos 20%) necesarios para cubrir gastos = 32 672.2฿

Bitcoins netos obtenidos durante 25 años= 31 557.2฿

Las ganancias tanto a inversores como aportadores y empleados se abonarán en Bitcoin, con el objetivo de reducir los costes cambiarios del Bitcoin al euro.

Los inversores reciben las ganancias en función de los tokens G&S que tengan (de un total de 650 000 000), los aportadores de biomasa en función de las toneladas aportadas al mes, hasta un máximo de 172 730 toneladas, es decir 14 395 toneladas al mes (Tabla 4.1), que es el consumo calculado. Y el porcentaje de los empleados es repartido de forma equitativa entre todos.

Destinatarios	Porcentaje de los beneficios	Bitcoins mensuales (฿)	Distribución		
Inversores (Poseedores de tokens G&S)	50%	52.595	**฿ /G&S al mes**	**฿ / G&S al año**	**$ / G&S al año**
			$8.09 \cdot 10^{-8}$	$9.71 \cdot 10^{-7}$	0.055
Aportadores de biomasa	30%	31.557	**฿ por Tm de biomasa**		**$ por Tm de biomasa**
			$2.19 \cdot 10^{-3}$		124.13
Empleados (70)	2.5%	2.63	**฿ por empleado al mes**		**$ por empleado al mes**
			0.037		2 095.08
Investigación uso de las cenizas	7.5%	2.63	**Financiación anual en ฿**		**Financiación anual en $**
			7.89		446 761.38
Provisión de fondos	10%	10.519	**฿ Acumulados en 25 años**		**$ Acumulados en 25 años**
			3 155.7		$178.7 \cdot 10^{6}$
Precio del ฿ 20 de abril del 2021: 56 623.75$ **(Coingecko, 2021)**.					

Tabla 5.1 Distribución de los beneficios

Esto supone que todos los meses se van a redistribuir entre aquellos que aporten su biomasa residual **1 786 851$** (14 395 Tm/mes x 124.13 $/Tm). Para poner esta cifra en contexto un agricultor que tenga un campo de naranjos de 10 hectáreas, sabiendo que este tipo de cultivos genera una media de 4.680 Tm por hectárea año (Martí, 2011) el agricultor percibiría 6.032,72$ (0.1025 ฿), lo que supone un ingreso añadido más allá al rendimiento del cultivo.

Esta cantidad de dinero que tiene el potencial de generar una gran cantidad de riqueza puede tener consecuencias negativas producidas por el llamado *efecto cobra*[4].

Podría ocurrir que, al ofrecer una elevada recompensa por la biomasa, se desforestarán más hectáreas de bosque o de cultivo que las salvadas de los incendios forestales evitados, sin embargo, al haber una cantidad limitada de biomasa que se puede admitir en la planta cada mes, se evita este efecto.

Otra medida para evitar dicho efecto es el establecer turnos mensuales entre los agricultores e instituciones, y si fuese necesario limitando la cantidad de biomasa que pueden aportar en función del tipo de cultivo y de las hectáreas que posean.

De todas formas, hay que tener en cuenta que los datos obtenidos en la Tabla 5.1 se establecen con un precio del Bitcoin respecto al dólar de un día en concreto y este sufre fluctuaciones que variarían el beneficio obtenido, pudiéndolo reducir o incrementar. También es cierto que la dificultad del minado se va ajustando aproximadamente cada dos semanas como se ha explicado, lo que se puede traducir en un incremento de la energía necesaria para minar un Bitcoin, y a su vez dentro de 25 años se habrán sufrido 6 *halvings* (aproximadamente uno cada 4 años), reduciendo la recompensa por bloque en vez de los 6.250₿ que es actualmente a 0.0976₿.

Estos factores que incrementan el coste de minado, se prevé que vengan acompañados de un aumento del precio del Bitcoin respecto al Dólar, capaz de mantener los márgenes de beneficios actuales, en caso de que este no se produjese y fuese deficitario el minado, siempre se puede vender la electricidad a la red eléctrica, o cambiar los equipos de minado por servidores y espacio de almacenamiento en la nube.

[4] Término acuñado por el economista Alemán Horst Siebert, inspirado en un episodio ocurrido en Nueva Delhi cuando pertenecía al imperio británico, que sufrió una infestación de cobras, por lo que el gobierno decidió pagar por cada cobra muerta que le fuese entregada, lo que provocó que estas fueran criadas. Al descubrir esta treta las autoridades cesaron las recompensas, entonces los criadores de cobras las liberaron, con lo que se empeoro la situación de infestación inicial que se intentaba combatir. (Ventura, 2021)

6 CONCLUSIONES

Se concluye que el aprovechamiento de la biomasa residual para el minado de bitcoin a los precios actuales es rentable y posee la capacidad de reducir los incendios forestales. Además de ser una fuente de riqueza en su entorno.

Los beneficios económicos aportados por este tipo instalación, son suficientes para cubrir los costes de transporte, tratamiento el aprovechamiento de la biomasa residual, y además suponer una fuente de ingresos adicional para aquellos particulares, empresas o instituciones públicas que aporten sus restos de biomasa a planta.

Restos que, en la actualidad, suponen un problema tanto para agricultores, empresas de jardinería, ayuntamientos y diputaciones provinciales. Por lo que en su mayoría son quemados en las campos y huertas, llenan vertederos o en el mejor de los casos son convertidos en compost.

Esto supone que una instalación de estas características también es capaz de incentivar la limpieza de los bosques. Una tarea que pasaría de ser una fuente de gasto para las arcas públicas, a una fuente de ingresos. Dicha limpieza, facilita las labores de extinción de los incendios forestales en caso de que éstos se produzcan, con la consecuente reducción de masa forestal asolada por los mismos.

Por lo tanto, la operación de este tipo central híbrida termosolar-biomasa, para el minado de Bitcoin y demás criptomonedas, en la provincia de Alicante produciría unas sinergias muy beneficiosas para su entorno. Por un lado, en la provincia hay una radiación solar óptima que se aprovecha en la parte termosolar, junto con una densidad de biomasa elevada, capaz de satisfacer las demandas de la planta, que tiene la capacidad de distribuir entre aquellos que aporten biomasa, es decir, a su entorno **21 440 975 $ al año**.

7 TRABAJOS FUTUROS

- Realizar un estudio de viabilidad y de las sinergias que se producirían con la reconversión de las centrales térmicas de carbón que se han clausurado o están a punto de ser clausuradas por la descarbonización, especialmente en Asturias, a centrales de biomasa y que la energía obtenida se emplee para el minado de Bitcoin y otras criptomonedas.
- Un estudio de la construcción de pequeñas centrales de biomasa distribuidas en las zonas rurales, con el fin de abaratar los costes de la biomasa residual, facilitando su aprovechamiento energético.
- Rentabilidad del uso de la energía obtenida por la biomasa residual para abastecer servidores y servicios de almacenamiento en la nube.

8 BIBLIOGRAFÍA

3bohiotecno, s.f. *https://sites.google.com/site/bohiotecnologia.* [En línea]
Available at: https://sites.google.com/site/bohiotecnologia/secador-de-manos/centrales-termosolares
[Último acceso: 13 04 2021].

Agencia Extremeña de la Energía, s.f. *Trabajar con biomasa: Instalación y servicios comercializables al ciudadano de a pie y a la empresa,* Caceres ; Badajoz: Agencia Extremeña de la Energía.

Alloscomp, 2021. *alloscomp.com.* [En línea]
Available at: https://alloscomp.com/bitcoin/calculator
[Último acceso: 15 03 2021].

Amabat, I., 2008. *calroyfrio.com.* [En línea]
Available at: https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/aire-instalaciones-componentes/sistema-de-refrigeracion-por-absorcion.html
[Último acceso: 22 03 2021].

Arbeláez, J. I. M., 2014. *Pirólisis rápida de la biomasa.* Medellin: Ecopetrol, Universidad nacional de Colombia.

ATECYR, 2010. *Diseño de centrales de calor eficientes.* Madrid: IDAE.

Basu, M., Pande, M., Bhadoria, P. & Mahapatra, S., 2009. Potential fly-ash utilization in agriculture: A global review. *Progress in Natural Science,* Issue 19, pp. 1173-1186.

Belviso, C., 2018. State of the art applications of fly ash from coal and biomass: A focus on zeolite synthesis processes and issues. *Progress in energy and combustion science,* Issue 65, pp. 109-135.

Bitcoin.org, 2021. *Bitcoin.org.* [En línea]
Available at: https://bitcoin.org/es/vocabulario#criptografia
[Último acceso: 19 03 2021].

Bitmain, 2020. *Bitmain.com.* [En línea]
Available at: https://support.bitmain.com/hc/en-us/articles/360005088914-Miner-normal-operating-temperature-range
[Último acceso: 28 03 2021].

Bleso, J. P. M., 2013. *Jornada: Sostenibilidad agroforestal valenciana.* Valencia, IVACE.

Briones, F. A., s.f. *Manual de formación de incendios forestales para cuadrillas.* 2ª ed. s.l.:Gobierno de Aragón.

Btc.com, 2021. *btc.com.* [En línea]
Available at: https://btc.com/stats/diff
[Último acceso: 03 20 2021].

Btc.com, 2021. *Btc.com.* [En línea]
Available at: https://btc.com/stats/halving
[Último acceso: 03 21 2021].

Cemex, 2021. *Cemex.es.* [En línea]
Available at: https://www.cemex.es/productos-y-soluciones/clinker
[Último acceso: 22 03 2021].

Centralestermolsolares, s.f. *http://centralestermosolares.50webs.com/.* [En línea]
Available at: http://centralestermosolares.50webs.com/DOCUMENTOS/Stirling.html
[Último acceso: 13 04 2021].

Cerdá, E., 2012. *Energía obtenida a partir de la biomasa.* Madrid: Universidad Complutense de Madrid.

CIEMAT, 2021. *bioraise.ciemat.es.* [En línea]
Available at: http://bioraise.ciemat.es/Bioraise/home/main
[Último acceso: 14 04 2021].

clevo-computer.com, 2021. *clevo-computer.com.* [En línea]
Available at: https://clevo-computer.com/es/5406/bitmain-antminer-s19-pro-110th-bitcoin-miner
[Último acceso: 21 03 2021].

Climatedata, s.f. *Climatedata.eu.* [En línea]
Available at: https://www.climatedata.eu/climate.php?loc=spxx0008&lang=es#:~:text=Clima%20Alicante%20%2D%20Espa%C3%B1a&text=por%20a%C3%B1o%3A,5525%20h.
[Último acceso: 12 02 2020].

Coingecko, 2021. *Coingecko.* [En línea]
Available at: https://www.coingecko.com/es
[Último acceso: 15 03 2021].

Consejería de agricultura, medio ambiente, cambio climático y desarrollo rural, s.f. *Análisis de causa de incendios forestales en la Comunitat Valenciana periodo 2009-2018,* Valencia: Generalitat Valenciana.

COT, A. y otros, 2010. *TERMOSOLAR BORGES: A THERMOSOLAR HYBRID PLANT WITHBIOMASS.* Venecia, s.n.

Courtois, N. T., Grajek, M. & Naik, R., 2014. Optimizing SHAA256 in Bitcoin Mining. *CCIS,* Volumen 448, pp. 131-144.

EOS, 2021. *EOS.io.* [En línea]
Available at: EOS.io
[Último acceso: 30 03 2021].

Erauskin, G. T., s.f. *Máquina Frigorífica de Absorción de Simple Efecto Condensada Directamente por Aire: Balances de Energía y Especificación de Componentes,* Madrid: Universidad Carlos III.

Faro de Vigo, 2017. La factura de apagar el fuego:Hasta 4 500 euros por hectárea quemada. *Faro de Vigo*, 07 12.

FENERCOM, 2012. *Guía técnica de la energía solar termoeléctrica,* Madrid: Fundación de la energía de la Comunidad de Madrid.

Fernández, J., 2003. *Energía de la biomasa.* Madrid: s.n.

Fernández, J. F., s.f. *Poder Calorífico.* Mendoza: Universidad Tecnológica Nacional.

FuturEnergy, 2018. Hibridación de termosolar y biomasa: Un modelo energético capaz de generar energía limpia de manera ininterrumpida. *FuturEnergy,* Issue 48, pp. 35-37.

García, J. E. C., 2007. *Combustión directa de la biomasa.* s.l.:EOI.

García, S., s.f. *Curso técnico en centrales termosolares.* s.l.:RENOVETEC.

Gascón, M., 2021. Así es la granja de bitcoin que están construyendo en una ciudad siberiana a 300km al norte del circulo polar ártico. *20 Minutos*, 18 01.

GEA, 2021. *gea.com.* [En línea]
Available at: https://www.gea.com/es/products/dryers-particle-processing/rotary-dryers-coolers/rotary-dryer.jsp
[Último acceso: 12 04 2021].

Google, 2021. *Google Maps.* [En línea]
Available at: https://www.google.com/maps/place/Parque+natural+del+Carrascal+de+la+Fuente+Roja/@38.6649497,-0.5412167,987m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0xd6180ad8b04ed7f:0x5dd27c37b40690df!8m2!3d38.6644071!4d-0.5399109
[Último acceso: 16 03 2021].

Google, 2021. *Google trends.* [En línea]
Available at: https://trends.google.es/trends/explore?date=all&q=bitcoin
[Último acceso: 15 03 2021].

Gregorio, M. d., 2019. *prospectivo, Biomasa en España. Generación de valor añadido y análisis,* s.l.: FEDEA.

Guillem, M. L., 2020. *Diseño y optimización termoeconómica de una planta híbirda biomasa-termosolar con almacenamiento térmico usando ciclos Brayton de CO2 supercrítico,* Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Hayes, A., 2021. *investopedia.com.* [En línea]
Available at: https://www.investopedia.com/tech/what-happens-bitcoin-after-21-million-mined/
[Último acceso: 21 03 2021].

Helio Noticias, 2013. *http://helionoticias.es/.* [En línea]
Available at: http://helionoticias.es/primera-central-termosolar-hibridada-con-biomasa/
[Último acceso: 12 04 2021].

Helionoticias, 2012. *Helionoticias.es.* [En línea]
Available at: https://helionoticias.es/puerto-errado-2-inaugurada-la-termosolar-con-tecnologia-fresnel-mas-grande-del-mundo/
[Último acceso: 13 04 2021].

https://tokenmint.io/, 2021. *https://tokenmint.io/.* [En línea]
Available at: https://tokenmint.io/
[Último acceso: 30 03 2021].

Hutchens, M., Lynch, D. & Stomberg, B., 2020. *Sharing the Wealth: The Effects of TCJA Bonuses on Employee Pay Satisfaction,* s.l.: s.n.

IDAE, 2008. *Biomasa: Climatización,* Madrid: IDAE.

IDAE, 2009. *Guía técnica de instalaciones de biomasa térmica en edificios,* Madrid: IDAE.
Innergy, s.f. *Biomasa y Energía termo-solar: Un modelo energético capaz de generar energía limpia de manera ininterrumpida, 365 al año, 7 días a la semana y 24horas al día.,* s.l.: innergy-global.com.

Instituto Estudios Económicos Universidad de Alicante, 2020. *Informe de coyuntura socieconómica III Trimestre 2020,* Alicante: s.n.

Kroll, J. A., Davey, I. C. & Felten, E. W., 2013. *The Economics of Bitcoin Mining,.* Washington DC, The Twelfth Workshop on the Economics of Information Security (WEIS 2013).

Lasheras, A. C., 2013. *Diseño de una planta termosolar de receptor central con almacenamiento de sales fundidas: Estudio de los efectos del sentido de circulación de la sal en el receptor y del desenfoque de los heliostatos del campo,* Leganés: Unviersdad Carlos III.

Losa, N. F., 2002. *El desarrollo profesional de los trabajadores como ventaja competitiva de las empresas,* Logroño: Universiad de la Rioja.

Lusa, S. y otros, 2020. Interventions to promote work ability by increasing sedentary workers physical activity at workplaces- A scoping review. *Applied Ergonamics,* Volumen 102962.

Magas, J., 2018. *Cointelegraph.* [En línea]
Available at: https://es.cointelegraph.com/news/top-five-biggest-crypto-mining-areas-which-farms-are-pushing-forward-the-new-gold-rush
[Último acceso: 15 03 2021].

Ma, J., Gans, J. S. & Tourky, R., 2018. Market Structure in Bitcoin Mining. *NBER,* Volumen 24242.

Mataix-Solera, J. & Cerdà, A., 2009. *Incendios forestales en España. Ecosistemas terrestres y suelos..* Alicante: GEA.

Ministerio de agricultura, pesca, y alimentación, 2019. *Los incendios forestales en España Decenio 2006-2015,* Madrid: s.n.

Molins, M., 2013. Planta Solar Termoeléctrica Hibridada de Les Borges Blanquees. *RETEMA,* Issue 169.

Morales, M. T. B., 2017. *Aspectos motivacionesl que influyen en el nivel de productividad de los empleados en centros de belleza situados en la zona de la Ciudad de Guatamela,* Ciudad de Guatemala: Universidad Galileo de Guatemala.

Moreno, D. S. S., 2017. *Plan de mejoras para incidir en la motivación laboral e incrementar la productividad de IMTECO S.A.,* Guayaquil: Instituto técnico superios tencológico bolivariano.

Mueller, M., 2011. *Oroyfinanzas.com.* [En línea]
Available at: https://www.oroyfinanzas.com/2011/08/hace-40-anos-se-suspendio-la-convertibilidad-dolar-oro/
[Último acceso: 20 03 2021].

Muñoz, D. B. & González, F. J. N., 2002. *La satisfacción laboral como elemento motivador del empleado,* Almería: Universiad de Almería.
mywhish, 2021. *mywhis.io.* [En línea]
Available at: https://contracts.mywish.io/create/eosIToken?network=10
[Último acceso: 30 03 2021].

Nakamoto, S., 2008. *Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system.* s.l.:www.bitcoin.org.

Neila, J., 2000. Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible: buenas prácticas edificatorias. En: *Textos sobre Sostenibilidad.* Madrid: s.n., pp. 89-99.

Nogués, F. S., 2010. *Energía de la biomasa.* Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza.

O´Dwyer, K. J. & Malone, D., 2014. *Bitcoin Mining and its Energy Footprint.* Limerick, ISSC.

Ortiz, M. I. L. & Moreno, J. M., 2016. *Evolución Histórica de la agricultura de la provincia de alicante 1990-2000.* Alicante: Universidad de Alicante.

Ortiz, M. P., 2016. *Diseño de una central termoeléctrica de biomasa.* Manresa: Universitat Politecnica de Catalunya.

Ortiz, M. P., 2016. *Diseño de una central termoélectrica de biomasa,* Manresa: Universitat Politècnica de Catalunya.

Perteseim, J. y otros, 2014. Solar tower-biomass hybrid plants – maximizing plant performance. *Energy Procedia,* Volumen 49, pp. 1197-1206.

Polavieja, M., 2020. *Bitcoin Como reserva de Valor,* s.l.: Instituto Juan de Mariana.
de Gregorio, Margarita 2019. Biomasa en España. Gneración de valor añadido y análisis prospectivo.: FEDEA.

Red Eléctrica Española, 2021. *Esios.ree.es.* [En línea]
Available at: https://www.esios.ree.es/es/analisis/600?vis=1&start_date=15-03-2021T00%3A00&end_date=15-03-2021T23%3A00&compare_start_date=14-03-2021T00%3A00&groupby=hour&geoids=3
[Último acceso: 15 3 2021].

Rego, A. R., 2021. *Proyecto de panta de cogeneración en un centro deportivo,* La Coruña: Escola Técnica Superior de Nautica e Máquinas.

Rengifo, P. J. H., 2016. Aprovechamiento de residuos de biomasa secundaria como combustible. *Ingenium,* Volumen 1, pp. 26-30.

RENOVABLES, E., 2020. *https://www.energias-renovables.com/.* [En línea]
Available at: https://www.energias-renovables.com/biomasa/la-termosolar-de-les-borges-blanques-vuelve-20201230
[Último acceso: 19 03 2021].

RETEMA, 2013. PLanta Solar Termoeléctrica Hibirdada de les Borges Blanques. *Revista Técnica del Medio Ambiente,* 05 02.Issue 169.

REVE, 2014. *https://www.evwind.com/.* [En línea]
Available at: https://www.evwind.com/2014/01/07/energias-renovables-abengoa-lider-mundial-en-termosolar/
[Último acceso: 13 04 2021].

Rico, J., 2020. Dos nuevas calderas para devolver la vida a la primera central termosoloar-biomasa del mundo. *Energias-renovables.com,* 25 02.

Rodriguez, J. L., 2015. *blog.cteep.com.* [En línea]
Available at: https://www.blog.cteep.com/frio-industrial/funcionamiento-de-una-maquina-de-absorcion-en-un-sistema-amoniaco-agua/
[Último acceso: 22 03 2021].

Ruiz, A., 2020. *Tecpa.es.* [En línea]
Available at: https://www.tecpa.es/planta-biomasa-mas-grande-espana/#:~:text=Estas%20centrales%20de%20biomasa%20son,%2C%20y%20Utiel%20(Valencia).
[Último acceso: 28 03 2021].

Rusovs, D., Jaundälders, S. & Stanka, P., 2018. *Blockchain mining of cryptocurrencies as challenge and opportunity for renewable energy.* Riga, RTUCON.

Sanjuán, M. y otros, 2014. *Mapa de la Condición de la Tierra en España.* Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Saralegui, R. M., 2018. *Central de generación combustión biomasa forestal desieña ciclo agau-vapor óptimo,* Madrid: Universidad Carlos III.

Surda, P., 2014. *The origin, classification and utility of Bitcoin,* s.l.: s.n.

The world Bank, 2017. *Solargis.com.* [En línea]
Available at: https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/spain
[Último acceso: 14 04 2021].

tokenlauncher.com, 2021. *token launcher.* [En línea]
Available at: https://www.thetokenlauncher.com/
[Último acceso: 30 03 2021].

Trading View, 2021. *tradingview.com.* [En línea]
Available at: https://es.tradingview.com/symbols/BTCUSD/?exchange=BITBAY
[Último acceso: 03 19 2021].

Tron foundation, 2021. *https://tron.network/.* [En línea]
Available at: https://tron.network/
[Último acceso: 30 03 2021].

UT-902 Prevnció díncendis forestals, s.f. *Incendio de Cortes de Pallás 28/06/2012,* Valencia: Generalitat Valenciana.

Valencia-Chapi, R., López-Guillem, M., Coco-Enriquez, L. & Muñoz-Anton, J., 2020. *Hibridación biomasa-termosolar con batería de Carnot para ciclos Brayton de CO2.* s.l., XVII Congreso Ibérico y XIII Congreso Iberoamericano de Energía Solar.

Valle, J. M. G., 2018. Principales tipos de caldera de biomasa.

Velázquez Martí, Borja.,2011. La biomasa residual de las plantaciones como energía renovable. *Revista Agrónomos,* pp.18-27.

Vidales, J. A. V. & Peña, N. A. d. l., 2015. Modelos matemáticos y experimentales sobre el secado de biomasa. *Ingeniería y desarrollo,* 33(2), pp. 302-330.

Villasante, C., 2010. *sc.ehu.es.* [En línea]
Available at: http://www.sc.ehu.es/sbweb/energias-renovables/temas/termoelectrica/revision/revision.html
[Último acceso: 13 04 2021].

Vittominacori, 2021. *https://vittominacori.github.io/.* [En línea]
Available at: https://vittominacori.github.io/erc20-generator/
[Último acceso: 30 03 2021].

Y.Ahm, y otros, 2015. Review of supercritical CO_2 power cycle technology and current status of research and development. *Nuclear engineering and technology,* pp. 647-661.

Yakubowski, M., 2020. *¿bitcoin demostró ser una reserva de valor fiable en 2020? Los expertos responden,* s.l.: Cointelegraph.com.