

Estudio de la rentabilidad de una granja de criptomonedas alimentada mediante energía solar

Gema Conesa Díaz¹, María de Lourdes Barnés Romero.
IES Francisco Ros Giner

Resumen

La minería de Bitcoin de millones de ordenadores (llamados ASIC) está provocando un alto consumo energético mundial. En este trabajo nos planteamos tanto diseñar una granja de minería de Bitcoin sostenible alimentada mediante placas solares en Lorca (Murcia), estudiando su rentabilidad, como relacionar las variables estudiadas para crear expresiones que faciliten el cálculo de los beneficios.

Mediante la utilización de los métodos sintético y heurístico, hemos realizado un diseño en el que intervienen diferentes de variables (valor del Bitcoin, número de placas, subvenciones del Estado...) donde evaluamos el cambio de la rentabilidad al alterarlas y calculamos los ingresos planteando distintas situaciones con diferentes configuraciones en función del número de horas en que los ASIC están minando criptomonedas.

Al calcular el tiempo de amortización de la instalación fotovoltaica (teniendo en cuenta el coste de esta, concluimos que actualmente no es rentable realizar una instalación de este tipo, pues transcurridos estos años (nueve para un ASIC y once para más de uno) los ordenadores ya estarán obsoletos y no generarán prácticamente ganancias. Un valor más elevado del Bitcoin o la reducción de precio de la electricidad serían factores a tener en cuenta de cara a una mayor rentabilidad de la instalación.

Palabras clave: Bitcoin, minería, instalación fotovoltaica, rentabilidad.

¹ E-mail de la autora: 2864901@alu.murciaeduca.es

E-mail de la tutora: mlourdes.barnes@murciaeduca.es

Este trabajo es resultado del proyecto realizado en el programa del Bachillerato de Investigación del IES Francisco Ros Giner, con página web <https://www.murciaeduca.es/iesfranciscorosginer/sitio/>, y presentado en el XIV Congreso Regional de Investigadores Junior organizado por la Universidad de Murcia.

Study of the profitability of a cryptocurrency farm powered by solar energy

Abstract

The Bitcoin mining of millions of computers (called Application-Specific Integrated Circuit or ASIC) is causing a high global energy consumption. In this project, we have considered both to design a sustainable Bitcoin mining farm powered by solar panels in Lorca (Murcia), studying its profitability, and to link the variables studied to create expressions that facilitate the calculation of benefits.

By using the synthetic and heuristic methods, we have made a design involving different variables (value of Bitcoin, number of panels, state subsidies...) where we evaluate the change in the profitability when altering them and calculate the income by contemplating several situations with different configurations depending on the number of hours in which the ASIC are mining cryptocurrencies.

By calculating the payback time of the photovoltaic system (taking into account its cost) we can conclude that, currently, carrying out an installation of this kind is not profitable because, after this amortization period (nine years for one ASIC and eleven for more than one), the computers will already be outdated and will generate practically no profit. A higher value of Bitcoin or a reduction in electricity prices would be some factors to consider for a greater installation profitability.

Keywords: Bitcoin, mining, photovoltaic system, profitability.

Introducción

Las criptomonedas han cobrado una gran importancia en los últimos años, generando un gran impacto en la economía. Aunque muchos no seamos conscientes de ello, esta nueva forma de inversión está provocando un alto consumo energético a nivel mundial. Esto se debe a que millones de ordenadores extremadamente potentes llamados ASICs deben permanecer encendidos trabajando en un proceso conocido como minería de criptomonedas.

Con esta investigación pretendemos reducir el impacto medioambiental de la minería alimentando los ordenadores con una instalación rentable de paneles solares, haciendo uso de las energías renovables.

Este trabajo, por tanto, abarca los campos de la Economía en lo que se refiere al estudio de la rentabilidad y la Física en cuanto al consumo energético y producción de la instalación fotovoltaica.

Marco Teórico

Las Criptomonedas

Partiendo de las definiciones del término criptomoneda de la Real Academia Española (RAE, 2021) y del Banco de España, podemos definir las criptomonedas como monedas digitales no reguladas por ninguna institución que están basadas en un registro público conocido como *Blockchain*.

Procesamiento de las criptomonedas

Blockchain y el algoritmo Sha-256

El sistema *Blockchain* o cadena de bloques consiste en una base de datos donde se almacena en bloques toda la información de las transacciones realizadas con una criptomoneda, como Bitcoin, por ejemplo. Esta tecnología permite intercambiar datos sin la necesidad de un intermediario (Solé, 2022).

Además, toda la información de las transacciones se encuentra encriptada mediante un algoritmo, el algoritmo Sha-256. La encriptación hace que sea muy difícil, o casi imposible, obtener el mensaje original y, por tanto, evita que se pueda descifrar la información que contienen las transacciones. El algoritmo

Sha-256 transforma todos los mensajes para que tengan una longitud fija de 256 bits en sistema binario, que se traducen a 64 caracteres en sistema hexadecimal (Martin, s.f.).

Minería

El trabajo que se realiza en las granjas de criptomonedas, unos grandes espacios dedicados solamente al procesamiento de estas con una gran cantidad de ordenadores, se denomina minería. Esta consiste en validar y añadir transacciones al *Blockchain* (Sánchez del Río, 2022).

A los ordenadores que realizan este proceso se les conoce como mineros. Estos compiten entre sí para ser los primeros en añadir el bloque a la cadena, pues el que lo consiga recibirá una recompensa económica en forma de Bitcoin (Solé, 2022).

ASIC

Generalmente la minería la realizan unos dispositivos llamados *ASICs* (del inglés *Application-Specific Integrated Circuit*) que están especialmente diseñados para trabajar el algoritmo de Bitcoin y obtener un mayor rendimiento en la minería. La potencia computacional o potencia de cálculo de los equipos viene dada por su *hashrate*, una unidad de medida expresada en hashes por segundo (H/s) (Solé, 2022). Cuanto mayor sea la potencia o *hashrate* del ASIC mayor será también su consumo energético.

Siguiendo los datos difundidos por la Universidad de Cambridge en su página web *Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index*, en 2022 se consumieron 107,65 teravatios-hora en la minería de Bitcoin que realizan los *ASICs* a nivel mundial.

Placas fotovoltaicas

Las placas fotovoltaicas, también conocidas como paneles solares o módulos fotovoltaicos, son dispositivos empleados para la transformación directa de la radiación proveniente del sol en energía eléctrica en forma de corriente continua. Para transformar esta corriente continua en corriente alterna necesitaremos un inversor.

Existen varios tipos de placas fotovoltaicas dependiendo de las células solares que presenten. Entre ellas, las células de silicio monocristalino obtienen en aplicaciones prácticas un rendimiento de entre un 15% y un 18% frente a las células de silicio policristalino y el silicio amorfo, que presentan una menor rentabilidad eléctrica (Iges, 2020).

Algunos factores a tener en cuenta a la hora de realizar una instalación fotovoltaica son la potencia de las placas solares, la inclinación óptima de los paneles (en España es de unos 35° sobre la horizontal) y la diferencia de radiación solar a lo largo del día y del año.

Siguiendo los datos de *Global Solar Atlas*, la incidencia de radiación solar por meses en Lorca, con latitud 37.690546° y longitud -1.700134°, es:

Tabla 1

Variación de la radiación solar anual en Lorca, Murcia, medida en kWh/m².

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
135,6	140,3	167,2	171,1	192,8	216,0
Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
223,9	194,6	157,4	140,8	127,9	126,1

Por otro lado, la incidencia de radiación a lo largo del día en Lorca es:

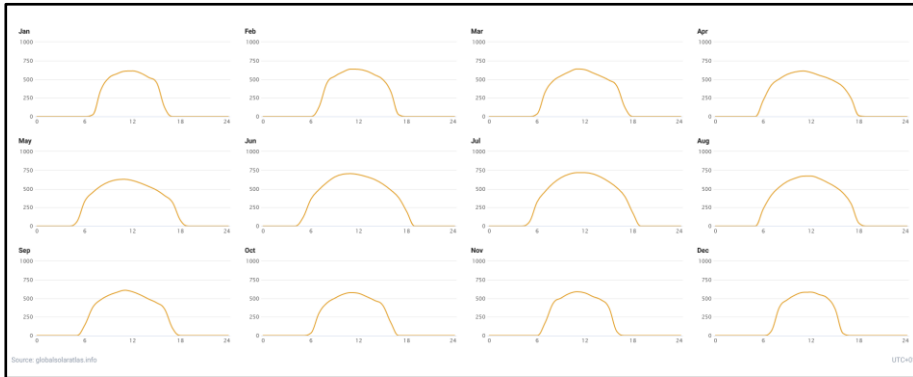


Figura 1. Variación de la radiación solar diaria en Lorca, Murcia, medida en Wh/m². Global Solar Atlas.

Objetivos

Los objetivos a alcanzar en esta investigación son:

- 1 Diseñar una empresa o granja de minería de Bitcoin sostenible alimentada mediante placas solares en Lorca teniendo en cuenta su rentabilidad, es decir, comparando la inversión en los equipos electrónicos y el consumo energético frente a los ingresos obtenidos de la minería de criptomonedas.
- 2 Encontrar las relaciones entre las diferentes variables que intervienen en la granja para crear expresiones que nos permitan calcular más fácilmente los beneficios.

Por lo tanto, la hipótesis planteada es: es posible construir una granja de minería rentable a base de paneles solares.

Metodología

Como método general utilizaremos la síntesis, pues relacionaremos la tecnología Bitcoin y la minería con la utilización de energía fotovoltaica. En cuanto al método específico, nuestro proyecto empleará el método heurístico ya

que crearemos una estrategia para reducir la contaminación de la minería de Bitcoin mediante el uso de energías renovables.

El nivel de nuestra investigación es exploratorio dado que trataremos un fenómeno tecnológico bastante novedoso y, desde cero, crearemos una granja de minería alimentada con energía solar teniendo en cuenta las características del clima de nuestra localidad. En cuanto al diseño, en este proyecto se relacionarán diferentes variables como el valor del Bitcoin, las subvenciones estatales ofrecidas o la energía mensual generada, entre otras. Se evaluará la relación entre estas y el cambio en la rentabilidad resultante de alterarlas. Por tanto, esta investigación es de carácter cuantitativo.

En cuanto a los materiales, utilizaremos las diferentes herramientas de Google (Google Académico, Google Drive, Documentos de Google y Hojas de cálculo). Para elegir el modelo de ASIC, nos apoyaremos en los datos proporcionados por varias páginas web, destacando entre ellas *ASIC Miner Value*. Elegiremos los elementos de la instalación solar apoyándonos en diversas tiendas online, como *Atersa Shop* y *Autosolar*. Para realizar los cálculos necesarios relativos a la producción de energía fotovoltaica, utilizaremos la información proporcionada por la página *PVGIS* de la Comisión Europea.

Resultados

Siguiendo el primer objetivo, para poder estudiar la rentabilidad de la granja de criptomonedas necesitaremos seleccionar los elementos de la instalación para después calcular el precio total de esta.

Selección de los elementos de la instalación

Selección del Modelo de ASIC

Tras recopilar algunos de los modelos de ASICs más utilizados del mercado, destacamos entre ellos los siguientes: *Antminer S19 XP Hyd*, *Whatsminer M30S++*, *Antminer S19 Pro*, *Whatsminer M30S+*, *Antminer S19 XP* y *Antminer S19 Pro+ Hyd*. Para elegir el modelo más rentable hemos calculado la eficiencia (Th/W) de cada uno de ellos, como se muestra en la Figura 2.

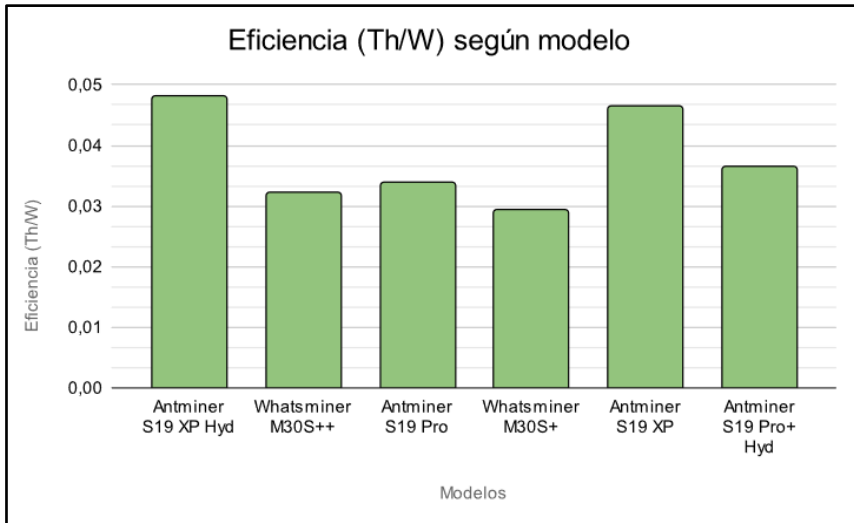


Figura 2. Gráfica comparativa de la eficiencia de los ASICs seleccionados. Elaboración propia.

El modelo *Antminer S19 XP Hyd* de la tienda *Bitmain*, que podemos ver en la Figura 3, ha sido seleccionado por presentar una mayor eficiencia.



Figura 3. Modelo Antminer S19 XP Hyd. Bitmain.

Selección del modelo de placa solar fotovoltaica

Hemos seleccionado seis modelos de placas solares de las tiendas mencionadas anteriormente, dedicadas a la venta de equipos para instalaciones

fotovoltaicas. Estos son: *455W A-455M ATERSA GS*, *550W A-550M ATERSA GS*, *500W Tensite Monocristalino PERC*, *550W Monocristalino PERC Tensite*, *500W Deep Blue 3.0 JA Solar* y *545W Ja Solar Mono PERC*. A continuación, hemos calculado la relación entre la potencia y el precio de cada uno, como se puede ver en la Figura 4.

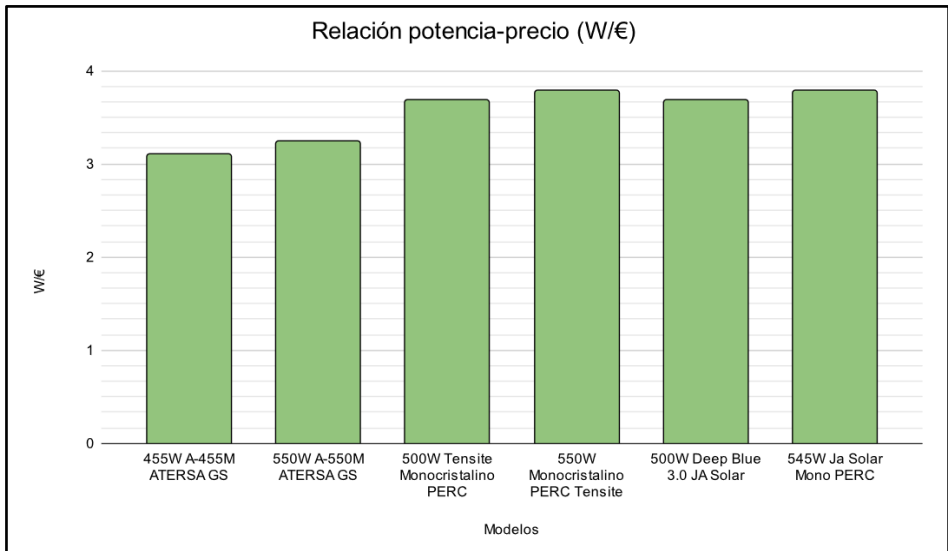


Figura 4. Gráfica comparativa de la relación “potencia-precio” de las placas solares seleccionadas. Elaboración propia.

El modelo más rentable es el *550W Monocristalino PERC Tensite*, que podemos ver en la Figura 5.

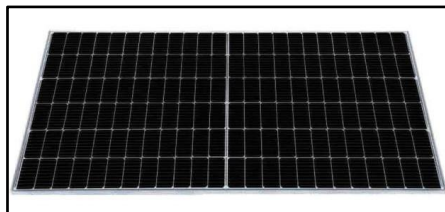


Figura 5. Modelo 550W Monocristalino PERC Tensite. Atersa Shop

Selección del modelo del inversor

Se han seleccionado varios inversores que cumplen con las características necesarias para soportar nuestra instalación:

- La potencia de entrada de nuestras placas solares ($550W \cdot 14 = 7700W$).
- La intensidad de la corriente producida por las placas (13,12A).
- La tensión de nuestros paneles (41.95V).

Además, deben producir una potencia de al menos 5346W, la necesaria para alimentar correctamente a nuestro modelo seleccionado de ASIC.

Como se puede ver en la Figura 6, hemos seleccionado el modelo más barato de entre aquellos que cumplían todas estas características: *Inversor Híbrido Solis S5-EH1P6K-L 6kW +WIFI*, *Inversor HD Wave 6000W SolarEdge Conexión Red Monofásico*, *Inversor Red SMA Sunny Boy 6.0kW AV-41* y *Inversor Red FRONIUS Primo 6.0-1 light 6kW*.

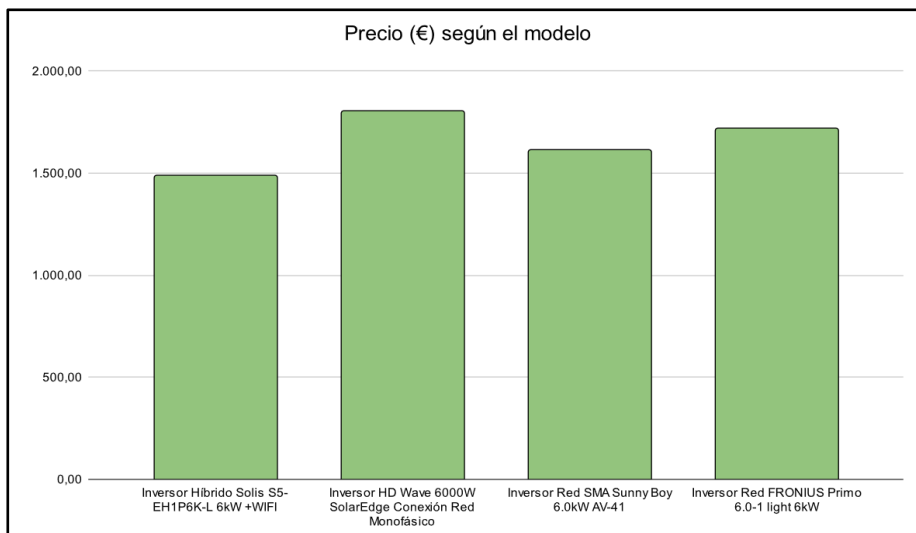


Figura 6. Gráfica comparativa del precio de los inversores seleccionados. Elaboración propia.

El modelo *Híbrido Solis S5-EH1P6K-L 6kW +WIFI* de la Figura 7, es el más económico.



Figura 7. Modelo Híbrido Solis S5-EH1P6K-L 6kW +WIFI. Atersa Shop.

Selección de los soportes

La tienda online *Bricoeilige* nos ofrece un soporte para la cubierta plana de la nave donde estará ubicada nuestra granja de minería. Este nos permite regular la inclinación de nuestros paneles desde 20° hasta 35°. El modelo *Soporte Inclinado cubierta plana Regulable de 20° a 35° 12V - vertical*, que podemos ver en la Figura 8, es compatible con las dimensiones de nuestras placas y puede soportar hasta 6 paneles solares. Este tiene un precio de 366,34€.



Figura 8. Modelo Soporte Inclinado cubierta plana Regulable de 20° a 35° 12V - vertical. Bricoeilige.

Esquema eléctrico de la instalación.

Nuestro inversor presenta un voltaje nominal de entrada, es decir, el valor en el que debe trabajar este aparato, de 330 voltios. Por otro lado, el voltaje máximo de nuestras placas es de unos 42 voltios. En consecuencia, para no sobrepasar el voltaje máximo admitido por el inversor, deberemos poner como máximo 7 placas en serie ($330V / 42V = 7,8$). Conectándolas en serie, es decir, uniendo el polo negativo con el polo positivo de cada una, se sumarán los voltajes de los paneles y se mantendrá la misma intensidad.

Como en nuestra instalación usaremos 14 placas por ASIC, las repartiremos en 2 grupos de 7 cada uno. Al hacer esto, tendremos dos parejas de cables que suministran un voltaje de 294 voltios ($42V \cdot 7 = 294V$) cada una.

Esta configuración es compatible con nuestro inversor ya que, según sus especificaciones, nos permite conectar dos cadenas de entrada.

También hemos tenido en cuenta la instalación de una toma tierra. Con esta, los paneles estarán protegidos de las posibles variaciones de voltaje generadas. Sabiendo todo esto, la disposición de la instalación puede verse representada en la Figura 9.

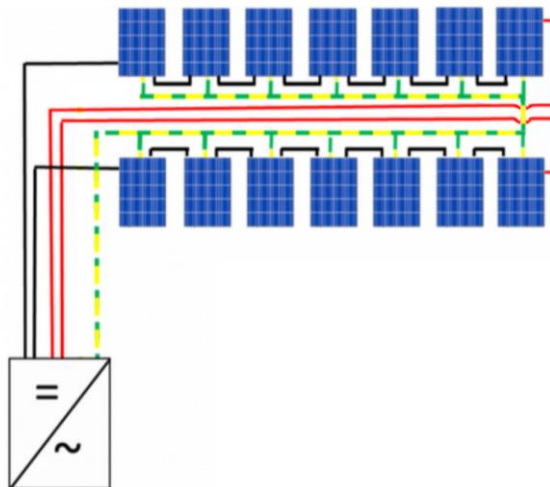


Figura 9. Esquema eléctrico de la instalación. Elaboración propia a partir de Prysmianclub.

Como vemos, necesitaremos tres tipos de cable: uno para transportar la corriente del polo positivo (en color rojo), otro para la del polo negativo (en color negro) y otro para la toma tierra (color amarillo y verde). En las tiendas *Atersashop* y *Autosolar* recomiendan usar cables de 6mm en todos los kits para instalaciones fotovoltaicas con una potencia igual a la nuestra.

Siguiendo el esquema anterior, el extremo más lejano de nuestra instalación estará a unos 8m, ya que colocaremos 7 placas de 113,4 cm de ancho cada una ($113,4\text{cm} \cdot 7 = 793,8\text{cm}$). También debemos de tener en cuenta que los cables deberán bajar la altura de la nave industrial para llegar al inversor, que suelen tener de media 12 metros. Por lo tanto, necesitaremos 20 m de cable por cada sección. Al tener dos grupos de placas, necesitaremos un total de 40 m de cable para el polo positivo. El extremo que se encuentra más cerca, con el polo negativo, apenas deberá cubrir la altura de la nave, por lo que solo necesitaremos unos 25 o 26 metros de cable. El cable de toma tierra tendrá una longitud de unos 28 m, ya que deberá cubrir tanto la longitud de los dos grupos de placas ($113,4\text{cm} \cdot 14 = 1587,6\text{cm}$) y la altura de 12 metros de la nave.

En cuanto al tubo para proteger estas secciones de cable, este deberá tener el diámetro necesario para albergar los 5 cables (2 positivos, 2 negativos y 1 toma tierra). Siguiendo las indicaciones de la siguiente tabla, necesitaremos un tubo de 25 mm de diámetro de unos 20m, ya que esta es la longitud máxima entre el final del último panel y el inversor.

Prysun	Diámetro exterior mín. del tubo (mm) rígido (UNE-EN 61386-21) para montaje superficial																			
	Nº de conductores																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1X4	12	16	20	20	20	40	40	40	40	50	50	50	50	50	50	50	50	50	63	63
1X6	12	16	20	20	25	40	40	50	50	50	50	63	63	63	63	63	63	63	63	63
1X10	16	20	25	32	32	50	50	50	63	63	63	63	63	63						
1X16	16	25	32	32	32	50	63	63	63	63										

Figura 10. Diámetro de los tubos. Elaboración propia a partir de Prysmianclub.

Coste de la instalación

Tras conocer la disposición de la instalación y el precio de los elementos de la misma, podemos calcular el coste neto de nuestra instalación fotovoltaica.

En primer lugar, hemos calculado en una Hoja de Cálculo el coste de los elementos de la instalación seleccionados anteriormente, como podemos ver en la Figura 11.

PRECIOS (€) - IVA INCLUIDO					
PLACAS	INVERSOR	SOPORTES (6U)	CABLE (€/m)		
145,2	1485,88	366,34	Positivo	3,06	
		SOPORTES (2U)	Negativo	3,06	
		144,21	Tierra	1,15	
			TUBO (€/m)		
				0,79	

Figura 11. Coste de los materiales de la instalación. Elaboración propia.

También hemos calculado, a partir de los precios estimados de la página *CYPE Ingenieros, S.A.*, el coste de la mano de obra requerido para el cálculo del presupuesto, al que le hemos añadido el IVA (véase en la Figura 12).

MANO DE OBRA					
PLACAS					
Mano de obra					
Oficial 1ª instalador de captadores solares.		0,4	22	8,8	
Ayudante instalador de captadores solares.		0,4	20,3	8,12	
		Subtotal mano de obra:			16,92
SOPORTE					
Mano de obra					
Oficial 1ª instalador de captadores solares.		0,25	22	5,5	
Ayudante instalador de captadores solares.		0,25	20,3	5,08	
		Subtotal mano de obra:			10,58
INVERSOR					
Mano de obra					
Oficial 1ª electricista.		0,3	22	6,6	
Ayudante electricista.		0,3	20,3	6,09	
		Subtotal mano de obra:			12,69
ARMARIO DE CONEXIONES					
Mano de obra					
Oficial 1ª electricista.		0,225	22	4,95	
Ayudante electricista.		0,225	20,3	4,57	
		Subtotal mano de obra:			9,52
CABLEADO + TUBO PROTECCIÓN (DERIVACION INDIVIDUAL)					
Mano de obra (de ambos)					
Oficial 1ª electricista.		0,105	22	2,31	
Ayudante electricista.		0,09	20,3	1,83	
		Subtotal mano de obra:			4,14

Figura 12. Coste de la mano de obra de la instalación. Elaboración propia.

Con estos datos podemos calcular la cuantía total de la inversión necesaria para realizar una instalación de 14, 28, 42, 56... placas, como se puede ver en la Figura 13.

NÚMERO DE PLACAS	
14	5143,2635
28	10286,527
42	15429,7905
56	20573,054
70	25716,3175
84	30859,581
98	36002,8445
112	41146,108

Figura 13. Coste de la instalación según el número de placas instaladas. Elaboración propia

Subvenciones públicas para instalaciones fotovoltaicas

Además, hemos calculado la cuantía de las subvenciones públicas que ofrece el gobierno para este tipo de instalaciones. Nuestra granja se encontraría bajo la clasificación de pequeña industria, pues la instalación estaría colocada en el techo de una nave industrial. Los datos para ello han sido obtenidos a partir del Real Decreto 477/2021 de 29 de junio sobre la concesión de ayudas ligadas al autoconsumo, que podemos ver en la Figura 14.

Actuaciones	Coste subvencionable unitario máximo (€/kW)	% ayuda pequeña empresa Ayuda (aplicable sobre coste subvencionable)
Instalación Fotovoltaica autoconsumo (1.000 kWp < P ≤ 5.000 kWp).	460	35 %
Instalación Fotovoltaica autoconsumo Potencia (100 kWp < P ≤ 1.000 kWp).	749	35 %
Instalación Fotovoltaica autoconsumo (10 kWp < P ≤ 100 kWp).	910	35 %
Instalación Fotovoltaica autoconsumo (P ≤ 10kWp).	1.188	45 %

Figura 14. Subvenciones para instalaciones fotovoltaicas. Elaboración propia a partir de Real Decreto 477/2021.

Con estos datos, podemos calcular la cuantía de la subvención que se aplicaría a nuestra instalación.

- Cuantía total de la ayuda: $0,45 \cdot 9147,6\text{€} = 4116,42 \text{€}$.
- Coste subvencionable máximo: $1188\text{€} \cdot 7,7 = 9147,6 \text{€}$

Producción eléctrica media mensual de la instalación fotovoltaica.

La página de la Comisión Europea “PVGIS” nos ha proporcionado los datos relacionados con la producción de energía de las placas solares dadas las coordenadas de la ciudad de Lorca.

Mes	E_m
Enero	808.4
Febrero	843.9
Marzo	1038.7
Abril	1064.8
Mayo	1174.7
Junio	1201.6
Julio	1245.9
Agosto	1195.7
Septiembre	1025.1
Octubre	945.3
Noviembre	786.7
Diciembre	786.9

Figura 15. Producción eléctrica mensual de 14 placas solares en Lorca, medida en kWh. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS).

Ganancias de la minería de Bitcoin

Para calcular los ingresos obtenidos con la minería de Bitcoin de los ASICs se ha consultado la página *CoinWarz, Bitcoin Mining Calculator*. Esta nos indica la cantidad estimada de Bitcoin que mina nuestro modelo seleccionado de ASIC cada hora. Realizando el siguiente cálculo, podemos calcular los ingresos de la minería obtenidos a la hora:

$$\text{Ganancias} = \text{Precio bitcoin } (\$) \cdot \text{Cantidad estimada de Bitcoin minados.}$$

Por tanto, en función del precio del Bitcoin, obtendremos más o menos ingresos. Tomando el precio del Bitcoin el 26 de agosto de 2023, obtendríamos unos 0,59€ por hora:

$$26029,50\$ \cdot 0,00002402 = 0,62522859 \$/h = 0,59032827 \text{ €/h.}$$

Sin embargo, tomando el mayor valor que tuvo el Bitcoin en 2022 (45857\$), podemos ver cómo estas ganancias aumentan:

$$45857\$ \cdot 0,00002402 = 1,101485 \$/h = 1,04 \text{ €/h.}$$

Ingresos generados por la instalación fotovoltaica

A continuación, se han calculado los ingresos que genera la instalación fotovoltaica que alimenta los ASICs. Siguiendo el objetivo número dos, relacionaremos las variables que intervienen en la instalación para elaborar las Hojas de Cálculo y calcular los beneficios más fácilmente:

- Potencia total de las placas instaladas (7,7kW).
- Energía fotovoltaica obtenida al mes (kWh).
- Consumo eléctrico de los ASICs (kWh).
- Energía demandada de la red (kWh).
- Coste de la energía consumida de la red (€) con la tarifa 8h. de Iberdrola.
- Ganancias de la minería de Bitcoin (€).

1 Teniendo el ASIC encendido durante todo el día.

Podemos calcular los ingresos mediante la siguiente expresión:

$$Ing = Bm - (Cb + Cc + Cf) = Bm - (Ct + Cf)$$

MES	Energía mensual consumida ASIC (kWh)	Energía fotovoltaica mensual obtenida (kWh)	Energía consumida en 8 horas nocturnas	Energía demandada de la red	Coste energía (horas baratas, €)	Coste energía (horas caras, €)	Ganancias Bitcoin por hora (€)	Ganancias Bitcoin (mes, €)	Gasto total en energía eléctrica	Coste fijo factura (€)	INGRESOS
Mes	Ea	Ef	Enb	Ed	Cb	Cc	Bh	Bm	Ct	Cf	Ing
Enero	3816	808,4	1272	3007,6	142,94	431,35	0,58	417,6	574,29	29,30	-185,99
Febrero	3816	843,9	1272	2972,1	142,94	422,53	0,58	417,6	565,47	29,30	-177,16
Marzo	3816	1038,7	1272	2777,3	142,94	374,12	0,58	417,6	517,05	29,30	-128,75
Abril	3816	1064,8	1272	2751,2	142,94	367,63	0,58	417,6	510,57	29,30	-122,26
Mayo	3816	1174,7	1272	2641,3	142,94	340,31	0,58	417,6	483,25	29,30	-94,95
Junio	3816	1201,6	1272	2614,4	142,94	333,63	0,58	417,6	476,57	29,30	-88,26
Julio	3816	1245,9	1272	2570,1	142,94	322,62	0,58	417,6	465,56	29,30	-77,25
Agosto	3816	1195,7	1272	2620,3	142,94	335,10	0,58	417,6	478,03	29,30	-89,73
Septiembre	3816	1025,1	1272	2790,9	142,94	377,50	0,58	417,6	520,43	29,30	-132,13
Octubre	3816	945,3	1272	2870,7	142,94	397,33	0,58	417,6	540,27	29,30	-151,96
Noviembre	3816	786,7	1272	3029,3	142,94	436,75	0,58	417,6	579,68	29,30	-191,38
Diciembre	3816	786,9	1272	3029,1	142,94	436,70	0,58	417,6	579,63	29,30	-191,33
											-1.631,15

Figura 16. Cálculo de las ganancias con el ASIC encendido todo el día.
Elaboración propia.

2 Encendiendo el ASIC solo durante las horas medias mensuales de sol donde las placas producen más de 800W.

Para calcular los ingresos podemos usar la siguiente expresión:

$$Ing = Bm - (Cb + Cc + Cf)$$

MES	Horas con producción > 800w	Energía mensual consumida a ASIC	Energía fotovoltaica mensual obtenida (kWh)	Energía demandada de la red	Consumo durante las horas baratas	Consumo durante las horas caras	Ganancias Bitcoin por hora (€)	Ganancias Bitcoin (mes, €)	Coste energía (horas baratas, €)	Coste energía (horas caras, €)	Coste fijo factura (€)	INGRESOS
Mes	Nh	Ea	Ef	Ed	Eb	Ec	Bh	Bm	Cb	Cc	Cf	Ing
Enero	8	1272	808,4	463,6	463,6	0	0,58	139,2	52,10	0,00	29,30	57,81
Febrero	9	1431	843,9	587,1	428,1	159	0,58	156,6	48,11	39,52	29,30	39,68
Marzo	9	1431	1038,7	392,3	233,3	159	0,58	156,6	26,22	39,52	29,30	61,57
Abril	11	1749	1064,8	684,2	207,2	477	0,58	191,4	23,28	118,55	29,30	20,27
Mayo	11	1749	1174,7	574,3	97,3	477	0,58	191,4	10,93	118,55	29,30	32,62
Junio	11	1749	1201,6	547,4	70,4	477	0,58	191,4	7,91	118,55	29,30	35,64
Julio	11	1749	1245,9	503,1	26,1	477	0,58	191,4	2,93	118,55	29,30	40,62
Agosto	11	1749	1195,7	553,3	76,3	477	0,58	191,4	8,57	118,55	29,30	34,98
Septiembre	10	1590	1025,1	564,9	246,9	318	0,58	174	27,74	79,03	29,30	37,93
Octubre	10	1590	945,3	644,7	326,7	318	0,58	174	36,71	79,03	29,30	28,96
Noviembre	8	1272	786,7	485,3	485,3	0	0,58	139,2	54,53	0,00	29,30	55,37
Diciembre	8	1272	786,9	485,1	485,1	0	0,58	139,2	54,51	0,00	29,30	55,39
												500,85

Figura 17. Cálculo de las ganancias con el ASIC encendido durante las horas con una producción solar mayor a 800W. Elaboración propia.

3 Encendiendo el ASIC solo durante las 8 horas al día que cubre la tarifa “8 horas” de Iberdrola.

En los siguientes tres casos, podemos calcular los ingresos mediante la expresión:

$$Ing = Bm - ((Ea-Ef) \cdot 0,112372 + Cf) = Bm - (Cb+Cf)$$

3.1. Tomando el valor de Bitcoin en agosto 2023.

MES	Energía mensual consumida ASIC	Energía fotovoltaica mensual obtenida	Energía demandada de la red	Coste energía (horas baratas, €)	Ganancias Bitcoin por hora (€)	Ganancia s Bitcoin (mes, €)	Coste fijo factura (€)	INGRESO NETO
Mes	Ea	Ef	Ed	Cb	Bh	Bm	Cf	Ing
Enero	1272	808,4	463,6	52,10	0,58	139,2	29,30	57,81
Febrero	1272	843,9	428,1	48,11	0,58	139,2	29,30	61,80
Marzo	1272	1038,7	233,3	26,22	0,58	139,2	29,30	83,69
Abril	1272	1064,8	207,2	23,28	0,58	139,2	29,30	86,62
Mayo	1272	1174,7	97,3	10,93	0,58	139,2	29,30	98,97
Junio	1272	1201,6	70,4	7,91	0,58	139,2	29,30	101,99
Julio	1272	1245,9	26,1	2,93	0,58	139,2	29,30	106,97
Agosto	1272	1195,7	76,3	8,57	0,58	139,2	29,30	101,33
Septiembre	1272	1025,1	246,9	27,74	0,58	139,2	29,30	82,16
Octubre	1272	945,3	326,7	36,71	0,58	139,2	29,30	73,19
Noviembre	1272	786,7	485,3	54,53	0,58	139,2	29,30	55,37
Diciembre	1272	786,9	485,1	54,51	0,58	139,2	29,30	55,39
								965,29

Figura 18. Cálculo de las ganancias (8h y valor de Bitcoin agosto 2023). Elaboración propia.

3.2. Tomando el valor pico de Bitcoin en 2022.

MES	Energía mensual consumida ASIC	Energía fotovoltaica mensual obtenida	Energía demandada de la red	Coste energía (horas baratas, €)	Ganancias Bitcoin por hora (€)	Ganancias Bitcoin (mes, €)	Coste fijo factura (€)	INGRESOS
Mes	Ea	Ef	Ed	Cb	Bh	Bm	Cf	Ing
Enero	1272	808,4	463,6	52,10	1,04	249,6	29,30	168,21
Febrero	1272	843,9	428,1	48,11	1,04	249,6	29,30	172,20
Marzo	1272	1038,7	233,3	26,22	1,04	249,6	29,30	194,09
Abril	1272	1064,8	207,2	23,28	1,04	249,6	29,30	197,02
Mayo	1272	1174,7	97,3	10,93	1,04	249,6	29,30	209,37
Junio	1272	1201,6	70,4	7,91	1,04	249,6	29,30	212,39
Julio	1272	1245,9	26,1	2,93	1,04	249,6	29,30	217,37
Agosto	1272	1195,7	76,3	8,57	1,04	249,6	29,30	211,73
Septiembre	1272	1025,1	246,9	27,74	1,04	249,6	29,30	192,56
Octubre	1272	945,3	326,7	36,71	1,04	249,6	29,30	183,59
Noviembre	1272	786,7	485,3	54,53	1,04	249,6	29,30	165,77
Diciembre	1272	786,9	485,1	54,51	1,04	249,6	29,30	165,79
								2.290,09

Figura 19. Cálculo de las ganancias (8h y valor pico de Bitcoin 2022).
Elaboración propia.

3.3. Tomando el valor medio de Bitcoin en 2022.

MES	Energía mensual consumida ASIC (kWh)	Energía fotovoltaica mensual obtenida	Energía demandada de la red	Coste energía (horas baratas, €)	Ganancias Bitcoin por hora (€)	Ganancias Bitcoin (mes, €)	Coste fijo factura (€)	INGRESOS
Mes	Ea	Ef	Ed	Cb	B/h	B/m	Cf	Ing
Enero	1272	808,4	463,6	52,10	0,64	153,6	29,30	72,21
Febrero	1272	843,9	428,1	48,11	0,64	153,6	29,30	76,20
Marzo	1272	1038,7	233,3	26,22	0,64	153,6	29,30	98,09
Abril	1272	1064,8	207,2	23,28	0,64	153,6	29,30	101,02
Mayo	1272	1174,7	97,3	10,93	0,64	153,6	29,30	113,37
Junio	1272	1201,6	70,4	7,91	0,64	153,6	29,30	116,39
Julio	1272	1245,9	26,1	2,93	0,64	153,6	29,30	121,37
Agosto	1272	1195,7	76,3	8,57	0,64	153,6	29,30	115,73
Septiembre	1272	1025,1	246,9	27,74	0,64	153,6	29,30	96,56
Octubre	1272	945,3	326,7	36,71	0,64	153,6	29,30	87,59
Noviembre	1272	786,7	485,3	54,53	0,64	153,6	29,30	69,77
Diciembre	1272	786,9	485,1	54,51	0,64	153,6	29,30	69,79
								1.138,09

*Figura 20. Cálculo de las ganancias (8h y valor medio de Bitcoin 2022).
Elaboración propia.*

Como se ha podido observar, las ganancias aumentan cuanto menor sea el número de horas en las que el ASIC está encendido. También podemos apreciar que, cuando el precio del Bitcoin es mayor, los ingresos obtenidos aumentan considerablemente.

Tiempo de amortización

Por último, teniendo en cuenta los ingresos obtenidos de la minería (encendiendo el ASIC 8 horas y tomando el valor de Bitcoin en agosto 2023) y el coste final de la instalación una vez aplicadas las subvenciones, hemos calculado cuántos años se tardaría en amortizar esta instalación, como vemos en la Figura 21.

Nº DE ASICs	POTENCIA INSTALADA	Nº DE PLACAS	COSTE INSTALACIÓN (€)	SUBVENCIONES (€)	COSTE FINAL INSTALACIÓN (€)	COSTE ASIC (€)	INGRESO NETO (€)	INGRESOS-GASTOS (1 año)	TIEMPO DE AMORTIZACIÓN (años)
Na	Pi	Np	Ci	Sub	Cf	Ca	In	IG	Ta
1,00	7,70	14,00	5.143,26	4.116,42	1.026,84	7.955,39	965,29	-8.016,94	9,31
2,00	15,40	28,00	10.286,53	4.904,90	5.381,63	15.910,78	1.930,59	-19.361,82	11,03
3,00	23,10	42,00	15.429,79	7.357,35	8.072,44	23.866,17	2.895,88	-29.042,73	11,03
4,00	30,80	56,00	20.573,05	9.809,80	10.763,25	31.821,56	3.861,17	-38.723,64	11,03
5,00	38,50	70,00	25.716,32	12.262,25	13.454,07	39.776,95	4.826,47	-48.404,55	11,03
6,00	46,20	84,00	30.859,58	14.714,70	16.144,88	47.732,34	5.791,76	-58.085,46	11,03
7,00	53,90	98,00	36.002,84	17.167,15	18.835,69	55.687,73	6.757,06	-67.766,37	11,03
8,00	61,60	112,00	41.146,11	19.619,60	21.526,51	63.643,12	7.722,35	-77.447,28	11,03

Figura 21. Tiempo de amortización de la instalación. Elaboración propia.

Según vemos en la figura anterior, el tiempo de amortización para una instalación con un solo ASIC es de más de 9 años y para más de uno es de unos 11 años.

Huella de carbono

Según la página oficial de la Generalitat de Catalunya, cada kilovatio hora de electricidad producido en España equivale a la emisión de 259 gramos de CO₂.

En base a este dato, podemos calcular los gramos de CO₂ que nuestra

instalación, con una producción anual de 12117,7kWh, evita que se emitan a la atmósfera:

$$12117,7 \text{ kWh} \cdot 259 \text{ gCO}_2\text{eq} = 3138484,3 \text{ gCO}_2\text{eq} = 3138,48 \text{ kgCO}_2\text{eq}$$

En total, esta instalación evitaría una emisión de 3138,48 kg de CO₂ a la atmósfera.

Conclusiones

- 1 En la fecha del estudio, no es rentable realizar una instalación de este tipo, pues su tiempo de amortización es de más de 9 años. Pasado este tiempo, los ordenadores (ASICs) ya estarán obsoletos y, dado que el ritmo al que avanza la tecnología es muy elevado, no generarán prácticamente ninguna ganancia en comparación con el resto de modelos competidores del momento. Si el precio del Bitcoin fuera mayor o el precio de la electricidad fuera más bajo, esta instalación sí podría llegar a ser rentable.
- 2 Se han encontrado expresiones que relacionan las diferentes variables que intervienen en la granja (ganancias de la minería de Bitcoin, costes de electricidad, energía fotovoltaica obtenida de las placas solares, coste de la instalación, tiempo de amortización...) que nos permiten calcular más fácilmente los beneficios.

Por lo tanto, nuestra hipótesis inicial “es posible construir una granja de minería rentable a base de paneles solares” no queda verificada en la fecha del estudio.

Bibliografía

ASIC Miner Value. (s.f.). Recuperado de <https://www.asicminervalue.com/>

Atersa Shop. (s.f.). Recuperado de <https://atersa.shop/>

Autosolar. (s.f.). Recuperado de <https://autosolar.es/>

Banco de España (s.f.). *¿Qué son las criptomonedas?* Recuperado de <https://www.bde.es/wbe/es/areas-actuacion/politica-monetaria/preguntas-frecuentes/definicion-funciones-del-dinero/que-son-criptomonedas.html>

Bitmain Shop (2023). Recuperado de <https://shop.bitmain.com/product/>

Bricoelige. (s.f.). Recuperado de https://bricoelige.com/soporte-inclinado-para-cubierta-plana-regulabe-de-20-a-35-vertical#/21-n_placas-6_paneles_solares

Coinwarz. (s.f.). *Bitcoin Mining Calculator*. Recuperado de <https://www.coinwarz.com/mining/bitcoin/calculator>

CYPE Ingenieros, S.A. (s.f.). *Generador de Precios de la Construcción*. Nombre del sitio web. http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/Instalaciones.html#gsc.tab=0

European Commission. (s.f.). *Photovoltaic Geographical Information System*. Nombre del sitio web. https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/

Generalitat de Catalunya (2023). *Cambio climático. Factor de emisión de la energía eléctrica: el mix eléctrico*. Recuperado de https://canviclimatic.gencat.cat/es/actua/factors_demissio_associats_a_l_energia/index.html

Gerard Solé Jardí. (2022). *Disseny d'una granja de mineria autosuficient de criptomonedas*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona, Cataluña, España.

Global Solar Atlas (2023). Recuperado de <https://globalsolaratlas.info/map>

- Iberdrola. (2023). *Plan Elige 8 Horas*. Recuperado de <https://www.iberdrola.es/luz/plan-elige-8-horas>
- Iges Sánchez J. (2020). *Diseño y estudio ambiental de una placa fotovoltaica*. Universidad Politécnica de Cartagena, Región de Murcia, España.
- María Sánchez del Río Ferrero. (2022). *Impacto Medioambiental de las Criptomonedas*. Universidad Pontificia Comillas, México.
- Martin D. (s.f.). *Sha 256 algorithm*. Recuperado de <https://sha256algorithm.com/>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2021). *Real Decreto 477/2021, de 29 de junio*. «BOE» núm. 155, de 30 de junio de 2021. (España).
- Prysmianclub (2022). *Recomendaciones para el tendido de cables fotovoltaicos*. Nombre del sitio web: <https://www.prysmianclub.es/recomendaciones-para-el-tendido-de-cables-fotovoltaicos/>
- Real Academia Española (RAE, 2021). *Criptomoneda*. Recuperado de <https://dle.rae.es/criptomoneda>
- Universidad de Cambridge. *Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index (CBECI)*. Recuperado de <https://ccaf.io/cbeci/index>