

REVALORIZACIÓN DE MINAS SUBTERRÁNEAS CERRADAS EN ESPAÑA PARA EL CULTIVO DE TUFAS

Prof. Dr. Ingeniero de Minas D. Rafael Barrionuevo Giménez¹

¹ E.T.S. de Ingenieros de Minas y Energía de Vigo (España)

UNIVERSIDAD DE VIGO. correo-e: rbarrion@uvigo.es

Resumen

Las antiguas explotaciones de “tufa”, que antaño sirvieron para construir grandiosos castillos a las orillas del río Loira y del Cher, adquieren una nueva vida al ser reconvertidas en centros de producción de setas, cavas para almacenar y degustar vino, centros artesanos que custodian el arte de tallar la piedra, oír música, hospedarse o pedalear por el interior de las galerías subterráneas.

Palabras clave: Restauración medioambiental, cultivo de setas en minería de interior, cultivo de champiñones en minería de interior, ecoturismo de vinos, ecoturismo de hongos y setas, canteras subterráneas.

Abstract

The ancient “tuffeau” underground quarries that served in the past for built a great castles to the shores of Loire and Cher rivers acquired a new life to be used for mushrooms production centre, wine caves, craft centres that guard the art to sculpt the limestone, ear music, accommodation or bicycle riding crossing underground galleries.

1. Introducción

La mina muere cuando la dejamos morir y no cuando termina su actividad extractiva. Algo muere cuando se olvida, por eso hay que recordar a nuestras antiguas explotaciones y prepararlas para una segunda o tercera vida. Se hablará en este artículo de una nueva oportunidad para una cantera que sirvió para proporcionar materia prima en la construcción de los castillos del río *Loire* en Francia. La mayoría de estas imponentes y majestuosas construcciones tienen su origen en el siglo XV, aunque algunos tardaron bastantes años en ser completamente terminados.

La lista de estas imponentes megac onstrucciones casi no tiene límites: Chambord, Blois, Amboise, Cheverny, Chaumont, Luynes, Langeais, Cinq-Mars, Saumur, Brissac, Chenonceau, Montrichard, Montresor, Valencay, Villandry, Azay Le Rideau, Chinon, d’Usse, Sully-sur-Loire, etc.



Figura 1.- Castillo de Chansonneau (2017)

Los castillos tenían que lucir frente al mundo y se buscó una piedra para su construcción que los hiciera resaltar de forma innegable. La tufa o “tuffeau” es una roca de origen calizo del valle del río *Loire*. Ésta, se caracteriza por su color blanco o crema de grano muy fino y que contiene pequeños copos o trazas de mica moscovita que

le aportan un brillo especial. Las canteras del *Loire* ya no están operativas en la actualidad excepto para restauración de estos castillos y se han agotado completamente en la mayoría de los casos.

La tufa se crea geológicamente por la abundancia de carbonato cálcico precipitado fuera de la temperatura ambiente del agua, a menudo en una fuente termal o a lo largo de la costa de un lago alcalino, siendo la abundancia del carbonato lo que imprime esos colores blancos y crema muy claros que caracterizan a esta roca. Es una roca porosa lo que contribuye a su deterioro por los agentes atmosféricos y la contaminación -de ahí las restauraciones actuales-, sirviendo estas antiguas canteras como reservorio para tal fin.



Figura 2.- Castillo de Chambord (2017)

2. Geología de Francia

La geología regional de Francia se divide comúnmente en la Cuenca de París, el Macizo Armórico, el Macizo Central, la Cuenca de Aquitania, los Pirineos, los Alpes, la Côte languedocienne, el Sillon rhodanien, el Macizo de los Vosgos, el Macizo de las Ardenas, la Alsacia, graben (Rin graben) y Cuenca de Flandes. [1]

Géologie de surface de la France

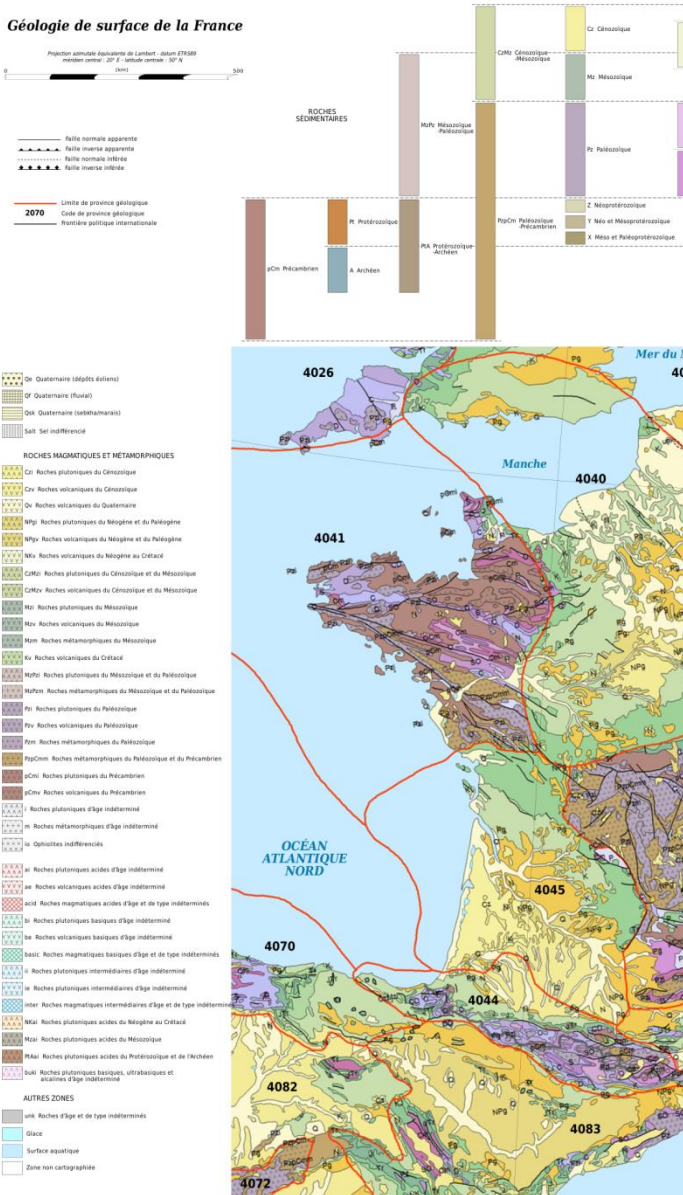


Figura 3.- Geología. (France geological map-fr.svg. Eric Gaba)

3. De la piedra a la hostelería, el “champiñón”, los vinos o el ciclismo

Las antiguas explotaciones de piedra caliza en la actualidad han adquirido una segunda vida, bien como cavas para el almacenamiento de vinos o en nuestro caso particular para desarrollar la siembra de diferentes especies de setas y champiñones.

Las regiones de Saumur y Touraine esconden, bajo la apariencia apacible de sus ríos y colinas, unas extrañas galerías subterráneas, las llamadas «cuevas troglodíticas». En su origen fueron excavadas en la roca con el fin de extraer la piedra de *tufa* (*tuffeau*), toba calcárea utilizada, tal y como se ha señalado, para la construcción de muchos de los castillos del Loire. Ahora estas redes subterráneas han sido reconvertidas en hoteles, o se han utilizado para el cultivo de setas y la crianza de vinos, sobre todo espumosos. Estas cuevas son lugares ideales para su conservación y degustación.

En algunos casos la imaginación no tiene límites y visitar una galería subterránea es ya de por sí un momento único, pero hacerlo en bicicleta es alcanzar las cotas máximas de la originalidad... Las cuevas de Maison Bouvet-Ladubay ofrecen 8 km de pedaleo bajo tierra y sus galerías se remontan a hace más de 1000 años.



Figura 5.- Cuevas Maison Bouvet-Ladubay

3.1. La entrada

Todo espacio subterráneo, tiene su historia y la cueva de *tufa*, con más de quinientos años a sus espaldas no podía ser menos. La espartana entrada da acceso a una sala de distribución de galerías donde en paredes se recogen siluetas de historias bélicas y en el techo se dibuja un dentrítico y laberíntico mapa de galerías que se prolongan más allá de los 150 km.



Figura 6.- Entrada a las cuevas de Maison Bouvet-Ladubay

3.2. Reconversión de las explotaciones mineras

La reconversión de las explotaciones mineras no se ha realizado en un único frente. Más bien se ha enfocado en simultanear varios frentes económicamente productivos o atractivos desde el punto de vista histórico y del turismo:

1) **El frente minero.** En la visita a la explotación de “tufa” se observan las artes antiguas de la explotación. El arranque de los bloques de piedra con las herramientas de la época: cinceles, cuñas, el lecho blando para el vuelco de los bloques, los sistemas de iluminación antiguos con lámparas de aceite, etc.



Figura 7.- Canteras como museo

La cantera, actúa así como museo de la minería antigua, donde se explican los procedimientos de extracción de bloques y el escuadrado de los mismos. Hay que decir, que hoy en día el sistema de cuñas se sigue utilizando para abrir los sillares de granito y la imagen nos traslada en el tiempo a un lugar lóbrego, frío, apenas iluminado, donde unos mineros con pocos recursos mecánicos extraían y perfeccionaban bloques de forma hexaédrica que pudieran conformar un “ladrillo de piedra” para ser colocado en un castillo.

2) **El frente artístico.** Los castillos del siglo XVI en Francia, tenían que demostrar su opulencia, riqueza y distinción. En definitiva necesitaban que el arte inundase con sus esculturas y grabados, las paredes, escaleras, gárgolas y chimeneas. Los canteros y escultores de la zona tenían así oportunidad de hacer valer su destreza y hacer magia con el material de construcción que no era otro que la *tufa* extraída de las canteras. Al igual que en otras minas museo de Europa construyen iglesias en el interior de la mina y llenan la misma de estatuas y gnomos, en el interior de la explotación francesa, en una gran cámara se ha construido un pueblo medieval, íntegramente realizado en piedra, donde animales y materiales compiten en texturas para ver cuál de ellos es más real.



Figura 8.- Despliegue artístico en el interior de cuevas

Se trata de un impresionante despliegue artístico y de ingeniería de materiales sobre esta toba calcárea con excelentísimas y nobles propiedades para la talla. Los canteros, como artistas consumados, dan vida a la piedra con sus figuras, formas e imitaciones de la realidad plasmando la vida y el día a día de una sociedad que hace siglos nos precedió.

3) **El frente bélico.** Tal y como dice el refrán “*En tiempo de guerra todo agujero es trinchera*”. Estas cavernas de caliza tuvieron un pasado y una historia dentro de las guerras mundiales. Con mucho más de 100 km de galerías constituyeron un lugar de planificación como centro de mando y refugio para la población y el ejército.



Figura 9.- Cuevas usadas como frente bélico

4) **El frente productivo.** Las cuevas troglodíticas del río Loire y la Bretaña, son un ejemplo vivo de aprovechamiento de los espacios subterráneos y semisubterráneos. Terminado el recurso minero, los huecos excavados en la roca son aprovechados con fines absolutamente distintos, ofreciendo así una fuente de ingresos muy diversa, orientada hacia un turismo de aventura y calidad. Un ejemplo se podía observar por ejemplo en el Hotel Troglododo, donde transforma las cuevas en *suits* costando un alojamiento medio del orden de los 80€. (<https://www.troglododo.fr>)

Figura 9.- Cuevas del río Loire para turismo



Otras opciones de restauración, aprovechan no solo la propia idiosincrasia de la explotación minera en sí, también una geología excepcional. En Francia, hace unos diez millones de años y bajo el efecto de las mareas, una duna submarina se estratificó y en su interior quedaron atrapados innumerables esqueletos de animales, incluso de una ballena. El yacimiento minero del “*Mar de Falun*” donde los fondos de arena cercanos a la costa fueron poblados por bivalvos, braquiópodos y erizos de mar ha servido como fuente de aprovisionamiento de roca caliza para la construcción y en su visita, el turista puede quedar fascinado tanto por las grandes cámaras como por la arqueología o la simulación animada por ordenador de cómo se llegó a formar el yacimiento, como era la vida hace millones de años y todo ello proyectado sobre las paredes de la cueva.



P. Girault y S. Bonioll-

Otras restauraciones de estas antiguas explotaciones mineras sugieren y proporcionan un uso como almacenamiento de cava de vinos. Unas veces sobre paneles de madera y otras directamente sobre la roca para conducir mejor la temperatura sobre las botellas. Se exponen aquí dos ejemplos fotográficos: el primero en “La cave des Roches” y el segundo en el Interior de la bodega subterránea de “Bouvet-Ladubay”. (El País 2017).



Figura 10.- Cuevas para almacenar vino

La Caves des Roches, ha puesto su punto de mira en los hongos. Dedicado actualmente a la siembra de setas y champiñones una cama (4m x 2m) de producción de champiñón proporciona unos 28 kg de champiñón cada 4 meses (84 kg/año. cama). Las camas siempre se disponen de forma transversal por lo que el rendimiento por galería es elevado. Hay que señalar también la longitud de túneles excavados que supera los 150 km y la baja necesidad de consumo eléctrico. Las setas y champiñones no necesitan de la luz aunque ésta se pueda emplear puntualmente para acelerar ciertos procesos en la incubación, por lo que solamente se encienden secciones para la cosecha y controles para la misma aunque se pueden utilizar perfectamente lámparas de casco. La ventilación es por tiro natural y la mayor parte del consumo eléctrico está asignada a la zona de visita en efectos de iluminación así como en los sistemas de eliminación de insectos con dispositivos eléctricos colocados sobre las plantaciones (del orden de 20W) suele haber uno o dos por tramo de galería.

Variación	€/kg (mercado)	€/kg (producción)	Camas/fardos	kg/año ud.	kg/año	Valor mercado	Valor producción	km
Champiñón	2,69	1,3	3000 cama	84	252000	677.880,00 €	327.600,00 €	9
Portobello	12	6	500 cama	84	42000	504.000,00 €	252.000,00 €	1,5
Rebozuelo	56,5	28,3	500 fardo 4 caras	50	25000	1.412.500,00 €	707.500,00 €	1,5
Shiitake	9	4,25	500 fardo 5 caras	50	25000	225.000,00 €	106.250,00 €	1,5
seta enoki	220	110	200 fardo 4 caras	30	6000	1.320.000,00 €	660.000,00 €	0,6
						4.139.380,00 €	2.053.350,00 €	14,1



Figura 11.- Disposición de fardos de producción (4 caras)

El negocio está en combinar diferentes especies. Algunas más caras y exclusivas de mayor precio con otras de consumo habitual como el champiñón y el portobello. Si en vez de utilizar los 14 km propuestos de galería se utilizasen 50 km la cifra alcanzaría los 17M€ como valor de mercado y 8,5M€ como valor de producción.

A esto, hay que añadir que esta última se puede mejorar en rendimiento no solo empleando mayor longitud de galerías. También se puede hacer crecer la producción en vertical utilizando sistemas de estanterías.

(<https://www.rtve.es/play/videos/aqui-la-tierra/shitake-alaves/4608607/>)

Se visita exclusivamente una parte de la explotación. Las visitas de los turistas se realizan tres veces al día, dos por la mañana y una por la tarde, con una media anual de (263 días efectivos/año x 3 visitas x 25 adultos x 12€/p = 236.700€/año de ingresos y sin tener en cuenta que muchos turistas compran género en la tienda.

En Europa, los gastos de personal (10 personas) rondarían los 300.000€/año.

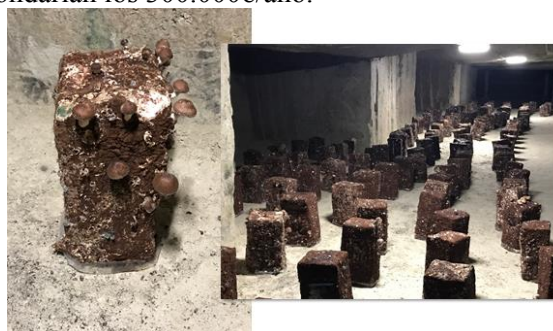


Figura 12.- Fardos de shiitake

Las setas más exclusivas como el *shiitake* (*Lentinula edodes*) son tratadas en condiciones simuladas a las naturales. Oriundas de Asia y Japón, esta seta crece en tocones de robles y árboles muertos en bosques templados y húmedos, está acostumbrada a las vibraciones producidas por las pequeñas liberaciones de energía sísmica. Para reproducirlas, se golpean con la mano varias veces los fardos base productores de la seta. Cada fardo y su zona anexa de trabajo requieren aproximadamente de 1 m² por unidad.

Francia tiene una gran cantidad de robledales (sustrato perfecto para este hongo), incluso existe una página web de robles monumentales.

(<https://www.monumentaltrees.com/es/fra-roblecomun/>).

Para los fardos de las setas, se pueden incorporar granos, serrín, virutas de madera, o una cuerda. Muchas veces se emplean pellets de madera a los que se les inocula el micelio. El sustrato ideal por ejemplo serían los troncos de roble. Este método también llamado *spawn*, funciona como un método de **propagación**, que supone la expansión de tejidos, con el fin de producir clones genéticos del espécimen original. Para el champiñón y otras setas, además se les añade suelo de turba para su correcta germinación.

(<https://www.youtube.com/watch?v=aHBJ4kDKJQ8>)

Existen otras especies de uso común y típico en la gastronomía europea como son los champiñones (*Agaricus bisporus*) y el champiñón portobello (*Agaricus Brunnescens*). En esta explotación las producciones se realizan en camas.



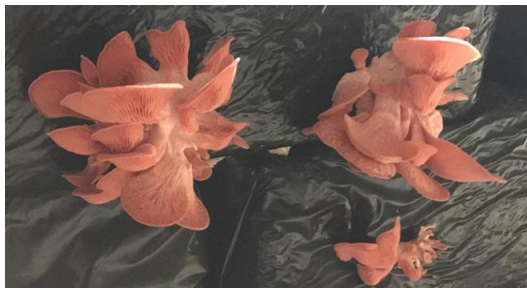
Figura 13.- Producción de champiñones en cuevas

Según las necesidades de cada tipo de seta a cultivar, se proporciona o una cama compuesta por fardos adosados a modo de mosaico, o bien fardos sueltos, por ejemplo para golpear y generar vibraciones para la setas *shiitake*.

Existen diferentes especies que alcanzan precios altos en el mercado como el rebozuelo, la seta enoki.



Girgola (*Pleurotus ostreatus*) y rebozuelo (*Cantharellus cibarius*)



4. Conclusiones

Existen especies de hongos y setas de altísimo valor comercial que pueden ser cultivadas en el interior de antiguas explotaciones mineras.

Por otra parte la colaboración multidisciplinar, entre escuelas de minería, agricultura y forestal puede proporcionar un marco de desarrollo conjunto en la preparación de los procesos de siembra, fabricación de micelios de reproducción e inclusión en los sustratos para producción.

Si bien hay especies que no se pueden reproducir en la actualidad en explotaciones y son exclusividad de la caprichosa naturaleza como sucede con las trufas exigentes en su localización mediante un perro trufero y capaces de alcanzar en el mercado valores que superan los 8000 €/kg, no es menos cierto que muchas especies de elevado precio en el mercado si son aptas para una

agricultura más extensiva. En este caso el precio es función de la exclusividad del medio o el entorno necesario para su reproducción.

Un ejemplo sería el Yartsa Gunbu (*Ophiocordyceps Sinensis*), conocido también como el Viagra del Himalaya. Este hongo que supera los 7000 €/kg, necesita más de 3000 metros de altura para desarrollarse y la larva de las polillas fantasma para reproducirse. Este hongo parásito, infecta los cuerpos de las orugas con esporas diminutas que se transmiten por el aire. Una vez dentro de las orugas, el hongo se come vivo a su huésped. Las orugas mueren lentamente y terminan momificadas en posición vertical cerca de la superficie de la tierra. Entonces el hongo, rompe la cabeza de la larva y aflora al exterior.

Las propiedades médicas del Yartsa Gunbu están altamente contrastadas. Lo interesante, desde el punto de vista científico, es que inhibe la inflamación a nivel genético, es decir, en el estadio de ARN mensajero, antes de que las proteínas se formen. Eso podría conducir a tratamientos novedosos para combatir el asma, la artritis reumatoide, las enfermedades cardiovasculares y hasta el cáncer.

De hecho, ya se ha probado su eficacia frente a las células cancerígenas del [tumor de pulmón](#), que en presencia del hongo dejan de crecer y terminan suicidándose (apoptosis). Incluso es capaz de poner [freno a la metástasis de cánceres de vejiga](#), haciendo que ponerle fin a la enfermedad resulte más sencillo. Y algunos estudios apuntan a que podría ser un poderoso antídoto [contra el envejecimiento](#).

Otra seta de altísimo nivel anticancerígeno es el matsutake (*Tricholoma matsutake*) un hongo micorriza que crece en Asia, Europa y América del Norte. Es apreciado por los japoneses por su olor aromático a especias. El matsutake contiene una sustancia anticancerígena única en el mundo.

¿Por qué no usar las antiguas minas como nuevos centros de aprovisionamiento médico y alimenticio?

Existen nuevas oportunidades para el aprovechamiento de las minas cuando éstas finalizan su vida. Las posibilidades van desde la digitalización con láser-escáner de las galerías con fines de creación de videojuegos o el cine, el cultivo de setas, almacenamiento documental e incluso espeleología submarina.

En este artículo, se ha intentado mostrar algunas de ellas con el claro objetivo de motivar a las nuevas generaciones de ingenieros de forma que piensen, cuando la mina está aún operativa, en cuál será el futuro de la misma, incluso realizando proyectos piloto en zonas ya explotadas de forma que la experiencia se vaya acumulando de forma simultánea a las labores mineras.



Figura 14.- Comercialización en la cava de los productos

Bibliografía y fuentes consultadas

<https://www.valledelloira-francia.es/organizar/actividades/actividades-para-descubrir-y-aprender/cave-champignonniere-des-roches>

<https://www.jardineriaon.com/setas-mas-caras.html>
<https://co.pinterest.com/saborvalle/seta-comestible/>
https://es.wikipedia.org/wiki/Tricholoma_matsutake
<https://tombouctou-food.com/es/diferentes-formas-de-cultivo-de-setas-morel/>
https://salaguamotors.com/top-10/las-cinco-setas-mas-caras-del-mundo/#1_Yartsa_Gunbu_-_2000_la_onza_Cual_es_la_seta_mas_cara_del_mundo
<http://www.cultivodesetas.es/setas-comestibles/cantharellus-cibarius://temycor.es/como-cultivar-enoki-en-casa/>
https://www.lasexta.com/tecnologia-tecnoplora/ciencia/ecologia/conoce-propiedades-hongo-yartsa-gunbu-viagra-himalaya_2017020258b003610cf2fa92de4b8ebc.html

Artículo recibido en: 25.09.2022

Artículo aceptado: 18.09.2022

THE IMPORTANCE OF THE ECONOMIC EXPLOITATION PLAN IN THE DECISION MAKING PROCESS IN MINING

Wendel Eduardo de Almeida

Adilson Curi

Carlos Enrique Arroyo Ortiz

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral

Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto

carroyo@ufop.edu.br

Abstract

In general, investors evaluate several investment alternatives including, obviously, the possibility of money investment in the banking system. The mineral resource industry is just one of the several options of investment available in the financial market. To select this option, especially for the mining investments, investors require ever more projects with proven financial security and developed by renowned companies. The financial return or potential of the project must be significant to justify the risks inherent to the mining activities. To facilitate the financial analyses of mine projects, in this study is proposed a methodology based on an economic analysis of the Brazilian gold Berimbau mine through an Economic Exploitation Plan - EEP- where a sensitivity analysis of the project cash flow was performed and variations in the ore price, investments (CAPEX - capital expenditure) and operating costs (OPEX - operating expense) were applied. An orthodox scenario with an ore price (gold) of USD 900.00/oz was considered. The results, specific aspects and socioeconomic benefits have confirmed the project's feasibility.

Keywords: economic analysis, mining, Economic Exploitation Plan.

Resumo

Em geral, os investidores avaliam várias alternativas de investimento, incluindo, obviamente, a possibilidade de investimento de dinheiro no sistema bancário. A indústria mineral é apenas uma das várias opções de investimento disponíveis no mercado financeiro. Para selecionar essa opção, especialmente para os investimentos em mineração, os investidores exigem cada vez mais projetos com comprovada segurança financeira e desenvolvidos por empresas de renome. O retorno financeiro ou potencial do projeto deve ser significativo para