

# Lignitos del Río Coyle y curso medio del Río Santa Cruz (Provincia de Santa Cruz): Importante recurso para la generación de energía y producción de fertilizantes.

María José CORREA<sup>1</sup>,  
Santiago SCHALAMUK<sup>2</sup>,  
Daniela MARCHIONNI<sup>1</sup> y  
Joaquín NIGRO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>) Instituto de Recursos Minerales (INREMI), Facultad de Ciencias Naturales y Museo (UNLP) – Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICBA).

<sup>2</sup>) CEQUINOR – CONICET, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (UNLP). Calle 64 y 120 s/n La Plata (1900), Argentina.  
Tel/Fax: 54-221-4225647

## RESUMEN

El lignito representa en la actualidad un recurso aprovechable para la generación de energía mediante la aplicación de nuevas tecnologías como la gasificación subterránea del carbón (GSC) para la producción de *syngas* (gas sintético). Las tecnologías GSC han sido probadas exitosamente en diversos países tanto para la obtención de energía eléctrica como para la generación de combustibles y productos químicos tales como fertilizantes nitrogenados. Los trabajos exploratorios realizados por YCF en la década del setenta permitieron identificar tres mantos de lignito en el área del Río Coyle y curso Medio del Río Santa Cruz (Cuenca Austral). En los últimos años, el conocimiento de las nuevas tecnologías de aprovechamiento de este combustible fósil, alentó la realización de tareas de exploración en estas áreas, incluyendo una perforación de 700 m en el sector del Río Coyle. En este trabajo se presentan las principales características geológicas de superficie y subsuelo de estos sectores, se describe la tecnología GSC que facilitaría su aprovechamiento y se analizan las posibilidades de producción de fertilizantes nitrogenados.

*Palabras clave:* lignitos, Cuenca Austral, gasificación subterránea, energía y fertilizantes.

## ABSTRACT

*Alto Rico "A gold prospect of low sulphidation in the Deseado Massif", Santa Cruz province, Argentina.* The lignite is actually a profitable resource for energy generation through the application of new technologies such as underground coal gasification (GSC) for the production of *syngas* (synthetic gas). GSC technologies have been tested successfully in several countries therefore for obtaining electrical energy as to generate fuels and chemicals products such as nitrogen fertilizers. Exploratory work conducted by YCF in the seventies identified three sheets of lignite in Rio Coyle and Santa Cruz River Middle course areas (Austral Basin). In recent years, the knowledge of the new technologies of this fossil fuel utilization, encouraged exploration tasks in these areas, including a 700 meters deep borehole in Rio Coyle region. In this paper, the main superficial and underground geological characteristics of these areas are presented, the technology that would enable its use is described and the possibilities of production of nitrogen fertilizers are discussed.

*Keywords:* lignite, Austral Basin, underground gasification, energy, fertilizer

## INTRODUCCIÓN

En la provincia de Santa Cruz se han reconocido distintas manifestaciones de combustibles sólidos minerales (Carrizo 2002) que comprenden: a) carbones de edad Mesozoica que aparecen principalmente en el sector norte y noreste de la provincia, y de edad Cenozoica que se distribuyen en el resto de la provincia, entre los cuales y, desde el punto de vista de sus reservas, se destacan los de las áreas de Río Turbio, Lago Cardiel y Río Lista, b) escasas manifestaciones de esquistos bituminosos en las áreas del Lago San Martín y alto Río Mayer, c) yacimientos de turbas, vinculados al relieve cuaternario de origen postglacial, que afloran en el área preandina, desde el área del Lago Buenos Aires al norte, hasta las nacientes del Río Gallegos, al sur y d) lignitos, identificados sobre la base de estudios de subsuelo (Lombard 1974; Luna 1978 y 1979) en el sureste de la provincia de Santa Cruz, en proximidad a la desembocadura del Río Coyle y en el curso medio del Río Santa Cruz, a los cuales se refiere la presente contribución.

En la década del setenta, Yacimientos Carboníferos Fiscales (YCF) estuvo a cargo de la exploración del subsuelo en la Cuenca Austral, en búsqueda de depósitos carbonosos, en áreas previamente reconocidas mediante estudios geofísicos y sondeos realizados por Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF) para la exploración de hidrocarburos (Lombard 1974). Como parte de la exploración regional de YCF se realizaron perforaciones prospectivas, que permitieron localizar dos importantes campos de lignito: uno ubicado en zonas cercanas a la desembocadura del Río Coyle y otro en el curso medio del Río Santa Cruz (Luna 1978 y 1979).

Como resultado de esta exploración se identificaron tres niveles principales de carbón, clasificados como lignito, en ambos sectores. Sin embargo, en esa época no se avanzó en un programa de exploración-explotación, debido a la profundidad en que se encontraban dichos mantos y a la falta de tecnologías que permitieran su aprovechamiento integral. Hoy en día estos depósitos cobran importancia, dado el enorme potencial de sus recursos, la calidad de los mismos y su favorable ubicación geográfica, muy próxima a importantes poblaciones, a rutas nacionales y provinciales, puertos de agua profunda, tendidos eléctricos y gasoductos.

En la actualidad está adquiriendo gran importancia la generación de energía a través de tecnologías “limpias”. En los últimos años son varios los países que han desarrollado tecnologías de este tipo para la utilización de carbón: Australia, Estados Unidos, Canadá, Sudáfrica y China, entre otros. La tecnología empleada para el aprovechamiento del carbón subterráneo, conocida como UCG (Underground Coal Gasification) o GSC (Gasificación Subterránea del Carbón), es la producción de gas “*in situ*” mediante la gasificación subterránea para generar “*syngas*” (gas sintético), que puede ser utilizado tanto para la generación de energía eléctrica como para la obtención de diversos subproductos de la transformación del carbón. A partir del desarrollo de esta avanzada tecnología se han puesto en marcha diversos proyectos de explotación no convencional del carbón con bajos riesgos de explotación, reducidos costos de producción y menor

impacto al medio ambiente. En Chile se destaca un proyecto en plena ejecución en la región de Valdivia.

En este tipo de metodología, la calidad de los carbones no constituye un parámetro crítico para su aplicación. Sin embargo, son factores determinantes la permeabilidad que presentan, la profundidad a la que se encuentran y el espesor de los mantos. Estas condiciones hacen que los depósitos de lignito de la Cuenca Austral, imposibles o difíciles de explotar mediante la minería clásica, hayan despertado gran interés, ante la posibilidad de aplicar la tecnología UCG para el aprovechamiento de los enormes recursos identificados. En este contexto, existe la posibilidad de transformar el lignito de esta región en gas sintético, a fin de generar energía, fertilizantes y otros productos de significación económica para la región.

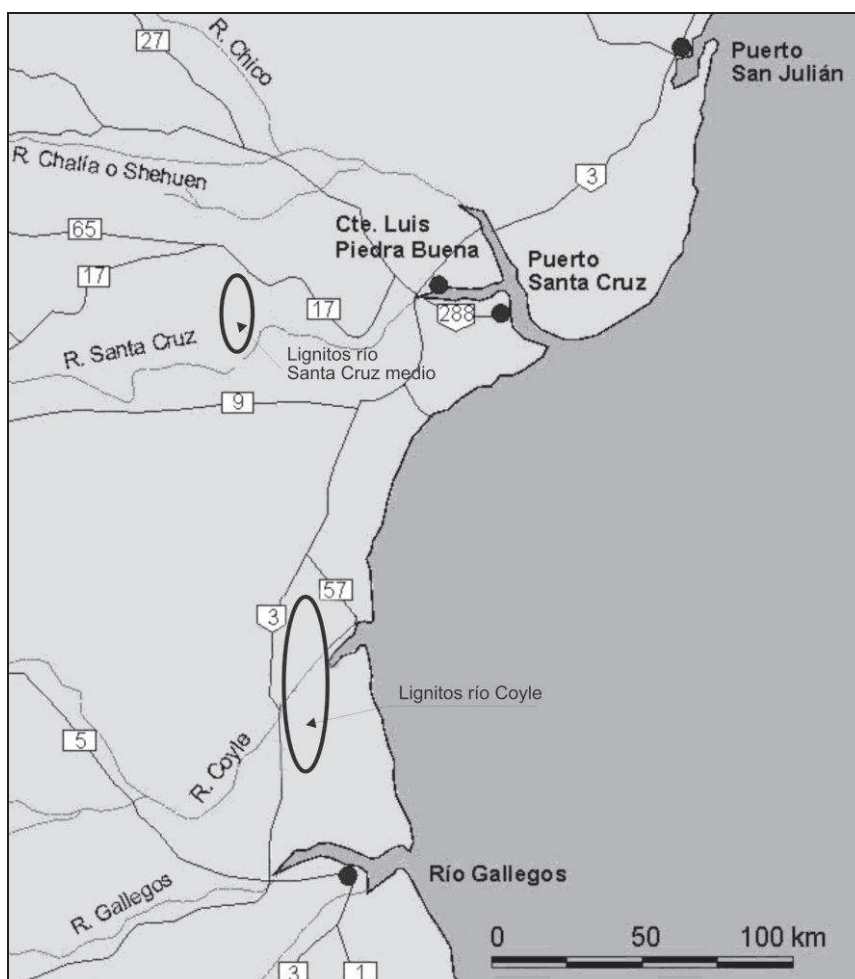


Figura 1. Ubicación del área de interés y vías de acceso principales.

En este trabajo se presentan las características geológicas y rasgos del subsuelo de los campos de lignito ubicados en la Cuenca Austral, provincia de Santa Cruz. Estos campos de lignito se encuentran localizados en dos sectores, uno de ellos en la margen izquierda del curso medio del Río Santa Cruz, unos 60 Km al oeste de la localidad Cte.

Luis Piedrabuena y el otro en las cercanías de la desembocadura del Río Coyle a unos 25 km de la costa atlántica (Figura 1). Ambos sectores están cubiertos por una serie de derechos mineros que pertenecen a una empresa privada (Guevara y Asoc.), que suman una superficie del orden de las 200.000 Ha y que están siendo estudiados con el objeto de evaluar su aprovechamiento mediante esta tecnología.

## GEOLOGÍA REGIONAL

El área de trabajo está ubicada en el sector sur de la provincia de Santa Cruz, en Patagonia Extraandina, y forma parte de la provincia geológica conocida como Cuenca Austral (Figura 2), definida como una cuenca extensional de retroarco, activa desde tiempos jurásicos, y relacionada a la apertura del Océano Atlántico (Tr-Jc). Durante el Cretácico tardío y el Terciario temprano, la Cuenca Austral registró una fuerte subsidencia a lo largo de su margen occidental, debido al ascenso de los Andes y al desarrollo de una faja plegada y corrida (Biddle et al. 1986). A partir del Cretácico tardío y durante el Cenozoico, esta región fue inundada por transgresiones marinas atlánticas que alternaron con períodos de sedimentación no marina y erosión, dando lugar a una compleja intercalación de sedimentos marinos y continentales. El principal rasgo geológico de la Cuenca Austral es el contenido de una secuencia mayormente marina desde el Cretácico hasta el Eoceno superior, cuando aparece la extendida formación continental de Río Leona. En la Cuenca Austral se acumularon más de 2.000 m de sedimentitas marinas cenozoicas que sólo se exponen completamente en algunos sectores restringidos de la provincia, en el área de Río Turbio en particular. Las sedimentitas marinas y sus relaciones se describen en Malumián et al. (1999) y Malumián (2002). El rango de edades de las sedimentitas continentales cubre gran parte del Paleógeno y Neógeno, presentando en la base un límite transicional con los depósitos que le subyacen, del Cretácico superior, o discordante, con rocas mesozoicas más antiguas. Estos depósitos sedimentarios continentales afloran principalmente al pie de la Cordillera Patagónica, si bien se encuentran dispersos en el resto del territorio de la provincia. Los espesores de estas unidades no son muy importantes y engranan lateralmente con sus equivalentes de ambiente marino transicional a marino somero. Una descripción de ellas se puede encontrar en Malumián et al. (1999) y Nullo y Combina (2002).

## UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS LOCALES

Las unidades geológicas que fueron reconocidas en los sondeos exploratorios de YCF, según consta en el informe de Luna (1978), corresponden a las formaciones: Man Aike, Río Leona, Patagonia y Santa Cruz.

*Formación Man Aike* (Furque 1973): Esta formación está constituida por un conjunto de areniscas pardo amarillentas, niveles de conglomerados finos, limolitas

pardo grisáceas y niveles con abundante material piroclástico. La secuencia es principalmente marina, somera a costera en los sectores occidentales de la cuenca, pasando a costera y continental en los términos superiores. Las facies continentales son poco importantes y se encuentran desarrolladas en los afloramientos más occidentales. Hacia el este mantiene sus características marinas, detectadas exclusivamente por perforaciones, llegando a estar presente en áreas costa afuera.

Esta unidad ha sido asignada al Cretácico superior por algunos autores y al Terciario inferior por otros. Robbiano et al. (1996) y Malumián (1999), le asignan una edad Eoceno medio. Camacho et al. (2000) y Marensi et al. (2002) la ubican en el Eoceno medio-tardío en base a la presencia de invertebrados marinos.

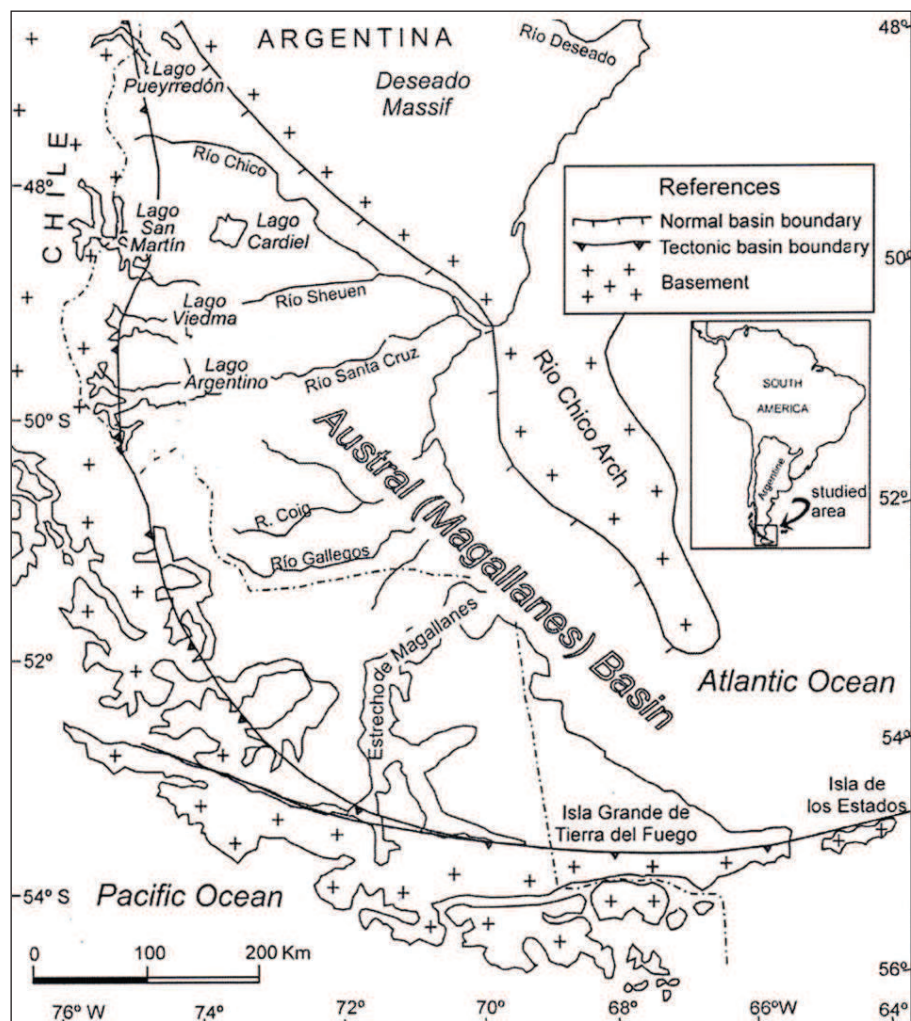


Figura 2. Mapa esquemático de la Cuenca Austral (Marensi et al., 2005).

*Formación Río Leona* (Furque y Camacho, 1972): Denominada originalmente “Estratos de Río Leona” por Feruglio (1949–50), esta unidad se apoya en discordancia sobre las sedimentitas marinas eocenas de la Formación Man Aike, o bien sobre los depósitos marinos transicionales, albuferas y playas de las formaciones Río Turbio y Calafate, y es cubierta en forma transicional por las

sedimentitas marinas litorales de la Formación Centinela, asignadas al intervalo Oligoceno tardío- Mioceno temprano. Se trata de una secuencia sedimentaria compuesta por conglomerados finos, areniscas conglomerádicas, limolitas, tobas y tufitas, en proporciones variables. Los cambios verticales también son variables, si bien prevalecen las secuencias granodecrecientes. En los términos superiores se observan niveles arcillosos con restos vegetales mal conservados y delgados niveles carbonosos (Nullo 1982). Manassero et al. (1990) señalaron la presencia de intercalaciones carbonosas con *Fagus* y fragmentos de madera petrificada. Estos horizontes carbonosos constituyen niveles tabulares de 10 a 100 cm de espesor. Hacia el techo de la formación se presentan niveles con intercalaciones tobáceas de poca potencia, que manifiestan una actividad volcánica en el retroarco.

Los depósitos de la Formación Río Leona representan una transición progresiva de sistemas fluviales entrelazados de alta energía con carga de fondo a sistemas de baja energía anastomosados y meandrosos con materiales en suspensión, sugiriendo una evolución del paisaje de un área de piedemonte de alto gradiente a una planicie costera baja, que finalmente fue inundada por el mar "Patagoniano" hace unos 22 a 25 Ma (Marensi et al. 2005). Estos depósitos proporcionan buenos ejemplos de sistemas fluviales con tramos degradacionales, transicionales y agradacionales desarrollados para cuencas de antepaís no marinas y pueden correlacionarse con tramos de sistemas transgresivos de secuencias estratigráficas clásicas. En las zonas de pantanos el influjo clástico por desbordamiento de las inundaciones genera lutitas carbonosas en vez de verdadero carbón (McCabe 1984). En la cuenca de Sydney (Nueva Escocia), Gibling y Bird (1994) encuentran que los niveles de carbón se forman en o cerca del máximo de inundación. La mayoría de los carbones bien desarrollados ocurren en el tramo transgresivo del sistema (TST), donde la superficie máxima de inundación está representada por pelitas con fauna marina. Siguiendo este esquema los carbones de Formación Río Leona pertenecen al TST.

En cuanto a su edad, ampliamente discutida por diversos autores, análisis isotópicos de la Formación Centinela arrojan valores entre 21.5 a 22.5 Ma, permitiendo ubicar a la Formación Río Leona en el Oligoceno (Marensi et al. 2005).

*Formación Patagonia* (Zambrano y Urien 1970): Esta denominación se asigna a un conjunto de sedimentitas marinas someras que constituyen asomos aislados y que afloran principalmente en el Gran Bajo de San Julián. Esta sedimentación es el resultado de una transgresión marina que afectó gran parte de la Patagonia como consecuencia del ascenso eustático global iniciado a partir del Oligoceno superior. Está compuesta esencialmente por coquinas y areniscas coquinoideas gruesas de color gris y castaño amarillento, integradas por abundantes restos de microfósiles enteros o rotos, cementados por material carbonático. En su base puede observarse un conglomerado de composición basáltica. Corresponden a un ambiente marino

somero, en condiciones neríticas y litorales, con zonas de oleaje y áreas protegidas de menor energía. Esta unidad es rica en braquiópodos, bivalvos y gasterópodos, algunos pectínidos, ostreidos y corales, y escasos moldes de turrítelidos y equinodermos enteros. Una discordancia regionalmente angular se observa en la base de esta Formación, que se apoya indistintamente sobre distintas formaciones mesozoicas.

Feruglio (1949–50) considera a esta formación de edad Oligoceno superior–Mioceno inferior. Para Bertels (1970) esta unidad representa una ingresión marina ocurrida en el Oligoceno superior. En cuanto al contenido fosilífero, la presencia en sus términos basales de un característico género de foraminíferos (*Transversigerina*) acota su máxima antigüedad al Oligoceno cuspidal (Malumián 1999).

*Formación Santa Cruz* (Zambrano y Urien 1970): Corresponde a un conjunto de rocas sedimentarias originalmente agrupadas como “Santacrucese” o “Santacruceano”. Posee una amplia distribución areal, aflorando en distintos sectores de la provincia de Santa Cruz. Litológicamente se compone de una secuencia de arcillas, areniscas de grano fino a medio, tobas y tufitas, de colores blanquecino, amarillento y pardo claro. Su espesor es variable, oscilando entre 1500 m en la región cordillerana y 225 m en la zona costera de Río Gallegos. Debido a su naturaleza friable sólo es observada en los cañadones, donde forma paredes verticales con un típico paisaje de erosión muy intensa.

En la costa atlántica, entre los ríos Coyle y Gallegos, aflora como una sucesión casi continua de tobas muy finas y chonitas, con intercalaciones de tobas más gruesas, con bioturbaciones y cuerpos psamíticos a psefíticos que se hacen más potentes hacia el sector medio de la secuencia donde predominan. En estos cuerpos se pueden hallar concreciones, rizolitos, cristales de anhidrita, costras calcáreas y grietas de desecación. En esta sección se encuentran los principales niveles fosilíferos. Luego siguen las areniscas, generalmente masivas; en algunos sectores se observa estratificación entrecruzada planar y en artesa e intercalaciones de tobas. Algunos autores mencionan la presencia de paleosuelos dentro de esta formación.

Tauber (1999) en el área de las rías del Coyle y Gallegos mencionan la presencia de restos de vertebrados (anuros, aves, mamíferos, primates y roedores). Malumián (1999) ubica a la Formación Santa Cruz en el Mioceno temprano tardío–medio temprano. Las edades radimétricas indican una edad Mioceno medio (Fleagle et al. 1995).

#### INFORMACIÓN DE SUBSUELO – Niveles de interés

El área del Río Coyle fue estudiada a través de siete sondeos exploratorios (Cuadro 1) que atravesaron terrenos del Terciario (Formaciones Santa Cruz,

Patagonia y Río Leona), penetrando algunos metros en la Formación Man Aike (Luna, 1978). Dentro de la Formación Río Leona se encuentran tres niveles carbonosos principales de disposición subhorizontal y algunos niveles menores que no pudieron ser correlacionados (Figura 3). Presentan un comportamiento concordante con la tendencia general de la cuenca, que buza sus capas sedimentarias hacia el sudoeste (Luna, 1978) con un valor del orden de 1° de inclinación promedio.

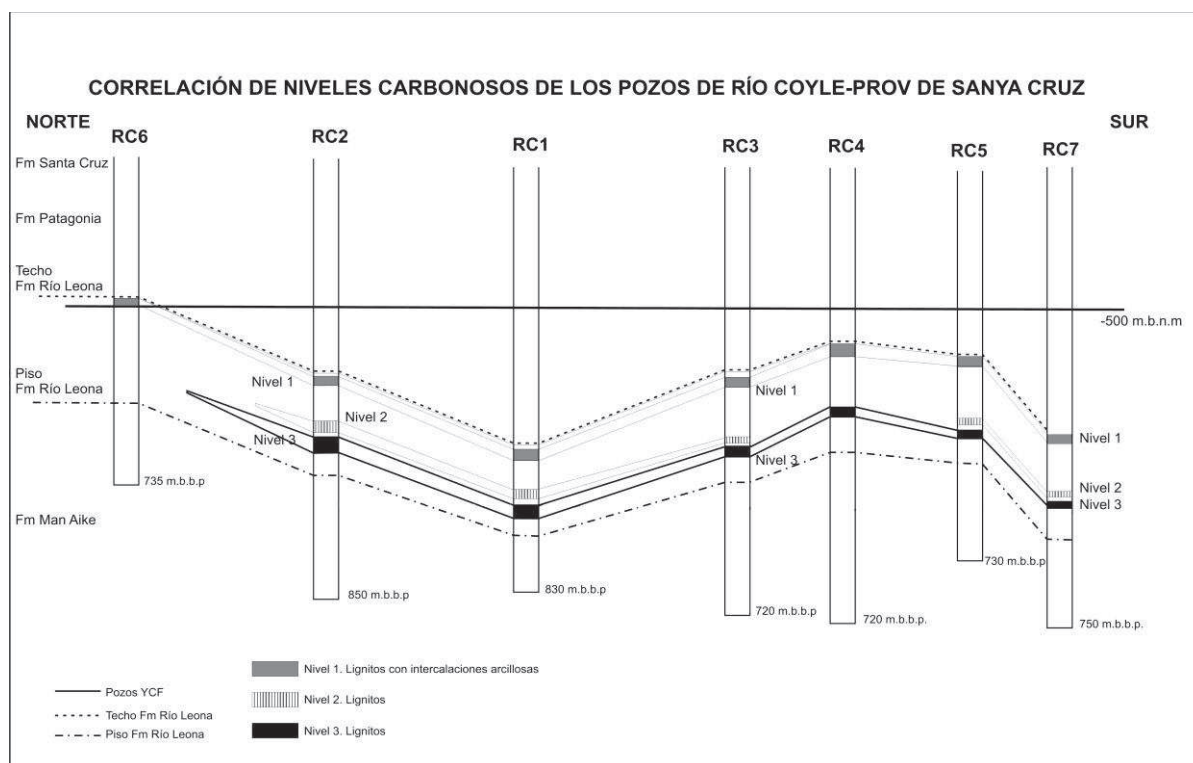
<i>Pozo</i>	Coordenadas Gauss Krüger (CAI)	
RC 1	2464624 E	4346297 N
RC 2	2465324 E	4356510 N
RC 3	2462959 E	4335688 N
RC 4	2464069 E	4330266 N
RC 5	2470249 E	4323583 N
RC 6	2464726 E	4366953 N
RC 7	2466098 E	4318881 N

Cuadro 1. Ubicación de los sondeos exploratorios de YCF en Río Coyle

El primer nivel o nivel superior se encuentra ubicado en el techo de la Formación Río Leona y en general presenta una gran extensión, con mejores expresiones en los sectores centro y sur del área. Hacia el norte suele presentar niveles de arcillas carbonosas, en algunos casos difíciles de correlacionar. El segundo nivel se ubica entre los 25 y 35 m por debajo del techo de la Formación Río Leona, es el de menor extensión y el contenido de lignitos es bajo y discontinuo. El tercer nivel se encuentra unos 10 a 18 m por encima del piso de la formación Río Leona y es el de mayor importancia, con gran extensión y continuidad.

Los tres niveles suman aproximadamente unos 6 a 7 m de potencia, con un desarrollo areal de unos 500 km<sup>2</sup> y se encuentran a una profundidad promedio de 680 m. Dado que las perforaciones fueron realizadas en forma alineada en sentido N-S la extensión de los depósitos fue determinada en ese sentido, quedando el interrogante de sus dimensiones en la dirección E-O. Estos mantos de lignito alojan recursos estimados en 5.000.000.000 toneladas y unos 10 millones x 10<sup>6</sup> kilocalorías (Luna 1978).





**Figura 3.** Distribución y correlación de los niveles de lignito a partir de las perforaciones realizadas por YCF en el sector del Río Coyle (simplificado de Luna, 1978).

En el sector del curso medio del Río Santa Cruz, se identificaron también a través de siete perforaciones, tres niveles de lignitos similares a los del Río Coyle, de los cuales existe menor información en los registros geológicos de la época. Estos depósitos cubren un área de unos 180 km<sup>2</sup>, yacen aproximadamente a unos 470 m de profundidad y se establecieron recursos estimados en 2.350.000.000 toneladas (Luna 1979). De los tres niveles, el superior se ubica entre los 27 y 35,5 m por debajo del techo de la Formación Río Leona y presenta una amplia distribución areal. El nivel intermedio se encuentra ubicado entre los 18 y 24 m por encima del piso de la Formación Río Leona y fue registrado en todos los sondeos exploratorios, mientras que el nivel inferior ubicado en el piso de dicha formación, es el menos extenso y de menor importancia.

Recientemente el Instituto de Recursos Minerales (INREMI) de la UNLP-CIC, por encargo de la empresa que posee los derechos mineros (Guevara y Asoc.), realizó un reconocimiento geológico de las dos áreas de interés carbonífero (Schalamuk, et al. 2011) y ejecutó un sondeo de reconocimiento en el sector de Río Coyle (pozo CRC-X1), en la proximidades del sondeo RC1 (Nigro 2011), a los 2464585 E 4346506 N, con una cota de 187 m s.n.m.m. En la Figura 4 se presenta un esquema de las litologías interceptadas. Esta perforación alcanzó una profundidad de 700 m.b.b.p. y fue interrumpida por problemas técnicos pudiendo sólo atravesar unos pocos metros del tramo superior de la

Formación La Leona. Sin embargo, permitió constatar la presencia de restos vegetales carbonizados y del nivel superior de lignito a partir de los 680 m.b.b.p.

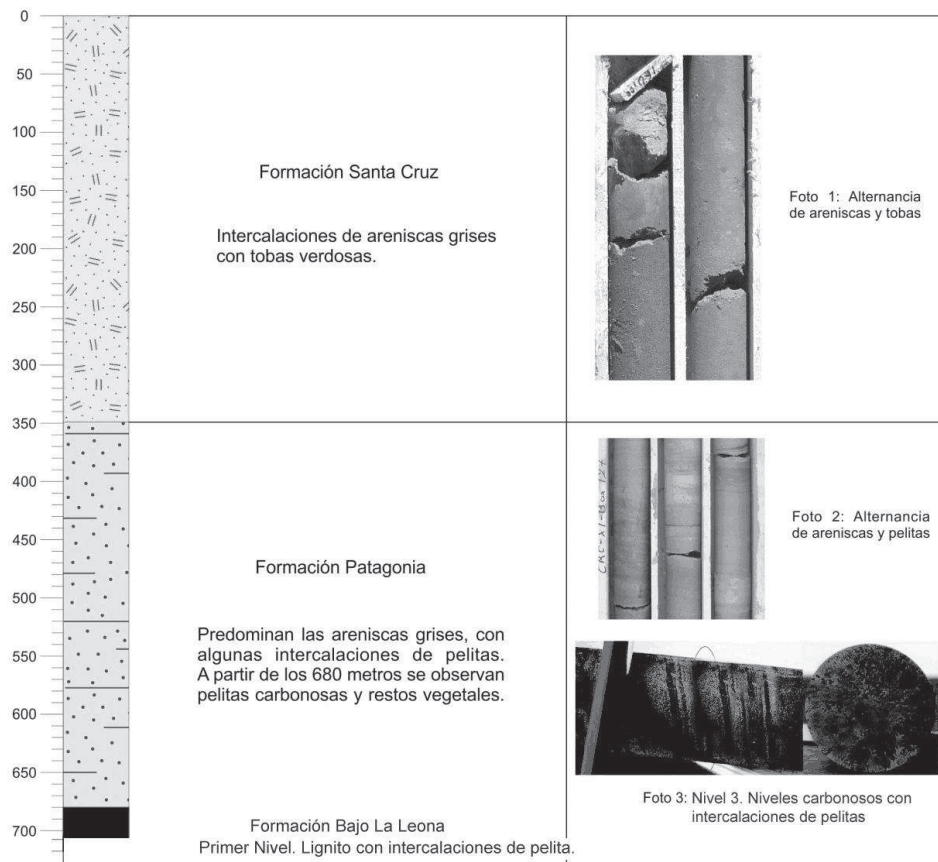


Figura 4. Perfil representativo de la perforación de control (Nigro, 2011).

## POSIBILIDADES DE GASIFICACIÓN SUBTERRÁNEA DEL LIGNITO

La gasificación subterránea de carbón (GSC, en inglés UCG: *Underground Coal Gasification*) es un proceso de aprovechamiento del recurso mineral carbón a través de la conversión “*in situ*” del mineral en profundidad, sin la necesidad de desarrollar una explotación en el sentido tradicional. En términos más simples, el carbón es transformado subterráneamente para producir gas de síntesis (syngas), que es extraído a través de sondeos y utilizado para la generación de energía o como materia prima en la elaboración de productos químicos derivados.

El método GSC consiste en la ejecución de sondeos (verticales, inclinados, horizontales o combinados) que son dirigidos a los mantos carbonosos, pudiendo alcanzar varios centenares de metros de profundidad. A través de esas perforaciones se inyecta un agente oxidante (por ejemplo aire, oxígeno y/o vapor de agua) con el objetivo de provocar una transformación termoquímica en esos mantos, que da lugar a la

generación del gas de síntesis. Dicho gas se extrae a la superficie mediante otras perforaciones dirigidas (Figura 5). Por lo tanto, los sondeos se realizan en número par: unos para la introducción del agente oxidante (inyección) y otros para la recuperación de los productos gaseosos (producción). El proceso da lugar a la formación de canales de reacción dentro de las capas de carbón, entre los sondeos de inyección y los de producción, facilitando la interacción del carbón con el aire al desplazarse el frente de la reacción térmica.

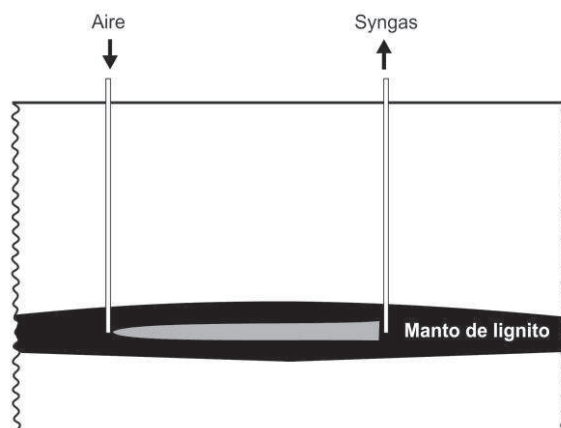


Figura 5: Esquema simplificado de GSC

Por lo tanto, la GSC permite el acceso al carbón en profundidad y lo transforma en gas, sin necesidad de operar mediante minado para luego efectuar la gasificación en superficie. Estas técnicas innovadoras permiten recuperar y aprovechar aquellos depósitos que no son explotables económicamente mediante las tecnologías tradicionales, ya sea por tratarse de mantos de carbón de poco espesor, por hallarse el recurso a varios centenares de metros de profundidad, por contener altos contenidos en azufre o por ser considerados de bajo rango para una explotación convencional.

El gas de síntesis derivado de mantos carbonosos es el producto directo del proceso de gasificación y está compuesto principalmente por hidrógeno, metano, monóxido de carbono y dióxido de carbono. El gas producido por GSC puede utilizarse para una variedad de propósitos, incluyendo la producción de combustibles líquidos (GTL), producción de energía en centrales eléctricas de ciclo combinado de turbinas a gas (Cadenas 2011), como materia prima para diversos procesos petroquímicos, por ejemplo producción de compuestos químicos u otros derivados tales como hidrógeno, metano, amoníaco, metanol y éter dimetílico.

Esta técnica cuenta con la ventaja de que durante el proceso subterráneo las cenizas permanecen en profundidad, así como también se reducen las emisiones de  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  y la contaminación con mercurio y otros elementos nocivos, en relación a las plantas térmicas convencionales de procesamiento de carbón. La gasificación en profundidad presenta numerosos beneficios ambientales frente a la explotación tradicional. Su desarrollo se

orienta a utilizar el carbón de manera más ecológica, produciendo un gas limpio que compite en el mercado con el gas natural. Permite la captura y utilización / disposición del CO<sub>2</sub>, uno de los principales gases de efecto invernadero, así como recuperar el hidrógeno como energía renovable. La tecnología GSC puede ser utilizada en pequeña y gran escala, de acuerdo con las necesidades y esquemas energéticos locales. Es especialmente adecuada para el aprovechamiento de carbón de menor calidad o menor rango (lignitos y carbones subbituminosos), los cuales producen menos calor en su combustión debido a sus altos contenidos en cenizas.

La tecnología GSC aún no se encuentra suficientemente difundida, sin embargo no es una tecnología nueva. Ha estado en funcionamiento en la antigua Unión Soviética durante la segunda mitad del siglo XX y varios de esos proyectos aún se mantienen activos. En Angren (Uzbekistán) dicha tecnología se operó con éxito durante más de sesenta años. A partir de los años 90 diversos países, entre ellos Estados Unidos, China, India, Australia, Sudáfrica, Japón, Nueva Zelanda, Canadá, España y Hungría, desarrollan proyectos con tecnologías GSC. Varios de estos proyectos están actualmente en etapa piloto y otros se encuentran en plena actividad productiva. China es uno de los países más activos en cantidad de proyectos debido a sus amplias reservas de carbón y a la imperiosa necesidad de ampliar su matriz energética. Chile se ha sumado recientemente a los países que iniciaron el desarrollo de tecnologías innovadoras para generar energía limpia. La empresa Chilena Mulpun, asociada a la australiana Carbón Energy, comenzó la implementación de estas tecnologías a principios del 2010, en la región de Valdivia, unos 40 km al noroeste de la citada ciudad (Alfaro et al. 2011). En dicho proyecto se explotarán mantos de carbón sub-bituminosos de Mulpun, previéndose la generación de electricidad que será destinada al sistema interconectado central de Chile. Programas similares se plantean actualmente en Colombia y Brasil.

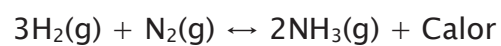
Argentina requiere con cierta urgencia incrementar la matriz energética. El yacimiento de Río Turbio (provincia de Santa Cruz) es actualmente la única fuente de combustibles sólidos de Argentina y se encuentra en actividad mediante explotación tradicional. Por otra parte, los depósitos de lignito detectados por YCF en zonas del Río Coyle y sector medio del Río Santa Cruz en los años 70 constituyen un importante recurso, que asciende a los 7.350 millones de toneladas y contienen entre 3000 a 3.500 calorías (Luna, 1978 y 1979, Schalamuk et al., 2011). Dichos mantos carbonosos se encuentran dentro de los considerados aptos para iniciar proyectos de explotación por GSC y, por su magnitud, presentan gran potencial, tanto para la generación de energía limpia como para la producción de insumos destinados a la agricultura y otras industrias.

## POSIBILIDADES DE PRODUCCIÓN DE UREA Y OTROS FERTILIZANTES NITROGENADOS

El nitrógeno (N) es considerado el nutriente más importante para la producción vegetal por las cantidades requeridas por los cultivos y la frecuencia con que se observan

deficiencias en los suelos agrícolas. En la región pampeana es el nutriente que condiciona en mayor medida el crecimiento y rendimiento de los cultivos (Echeverría y Sainz Rozas, 2005). En ese sentido, el balance de nitrógeno en los suelos agrícolas argentinos es negativo (Cruzate y Casas, 2009), lo que significa que en las cosechas se extrae mayor cantidad de nitrógeno de lo que se repone con la fertilización. Por lo tanto, para lograr una producción agrícola sustentable, dicho déficit debe ser cubierto a través de la aplicación de fertilizantes nitrogenados.

Existen varios fertilizantes nitrogenados, entre los que se encuentran: amoníaco anhidro, urea (que se produce con amoníaco y dióxido de carbono), nitrato de amonio (producido con amoníaco y ácido nítrico), sulfato de amonio (fabricado en base a amoníaco y ácido sulfúrico) y nitrato de calcio y amonio o nitrato de amonio y caliza (resultado de agregar caliza al nitrato de amonio). El amoníaco constituye la base para la producción de todos los fertilizantes nitrogenados. Si bien este compuesto se utiliza como materia prima para numerosos productos (fabricación de fibras y plásticos, explosivos, productos de limpieza), más del 75% de la producción mundial de amoníaco se destina a la elaboración de fertilizantes. Diversas técnicas se utilizan actualmente para la síntesis de amoníaco, pero todas ellas derivan del proceso original desarrollado por Fritz Haber y Carl Bosch a comienzos del siglo XX. Dicho proceso consiste en la reacción directa entre el nitrógeno del aire y el hidrógeno gaseoso, según la siguiente fórmula:



Aproximadamente el 80% de la producción del amoníaco emplea como materia prima el gas natural. Dicho gas está compuesto por mezclas de hidrocarburos y, para la producción de  $\text{NH}_3$ , este debe presentar contenidos de metano ( $\text{CH}_4$ ) superiores al 90 %, que permita la obtención del  $\text{H}_2$  requerido para el proceso de Haber y Bosch. En ese sentido, la producción de amoníaco y fertilizantes nitrogenados está supeditada al abastecimiento de gas. La potencialidad de los recursos de lignito existentes en la cuenca austral (Río Coyle y sector medio del Río Santa Cruz) permite considerarlos como importantes generadores de gas de síntesis (syngas), que permitirían la producción de amoníaco y fertilizantes nitrogenados, paralelamente a la generación de energía, mediante el empleo de las tecnologías no convencionales descriptas (Figura 6). La favorable ubicación de dichos depósitos (próximos a puertos y a infraestructura vial) constituye una ventaja para el desarrollo de un proyecto orientado a la producción de fertilizantes nitrogenados para abastecer a nuestro país, así como para la exportación al mercado internacional, especialmente a países que integran el MERCOSUR.

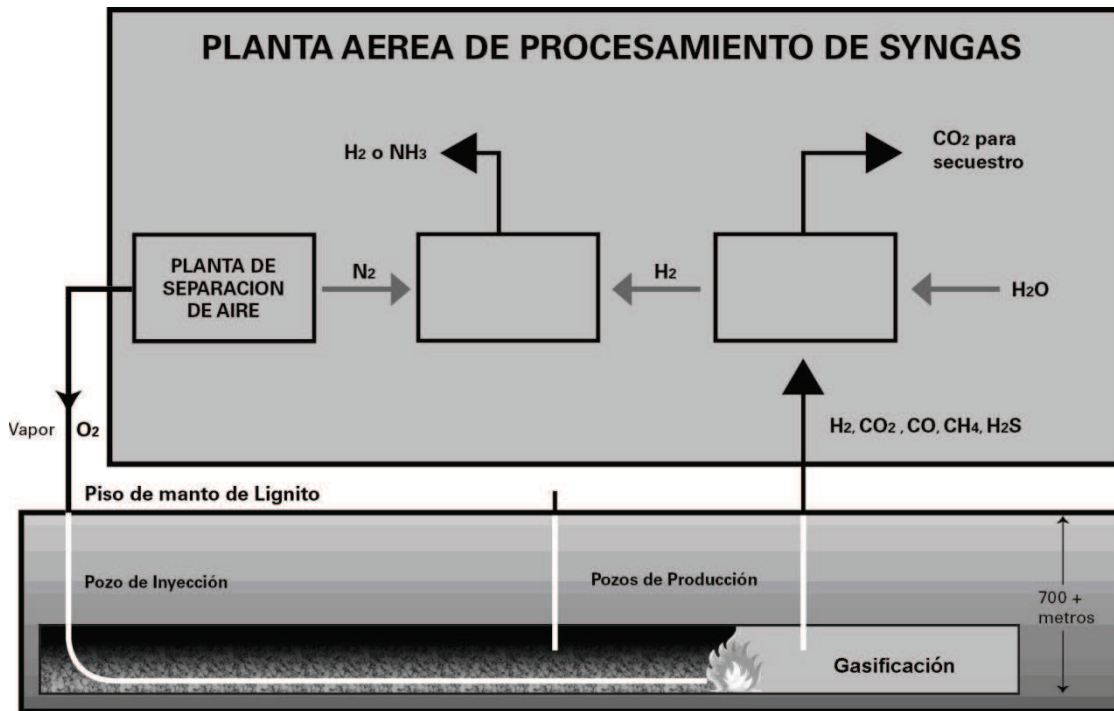


Figura 6: Esquema simplificado de producción de amoníaco a partir de syngas.

El consumo nacional y mundial de fertilizantes presenta una tendencia creciente (Figuras 7 y 8). El fertilizante nitrogenado más producido y utilizado es la urea granular. India es actualmente el mayor importador de urea del mundo. Se pronostica que en los próximos años la demanda de fertilizantes nitrogenados se incrementará a una tasa anual del 1.4 % (FAO, 2008).

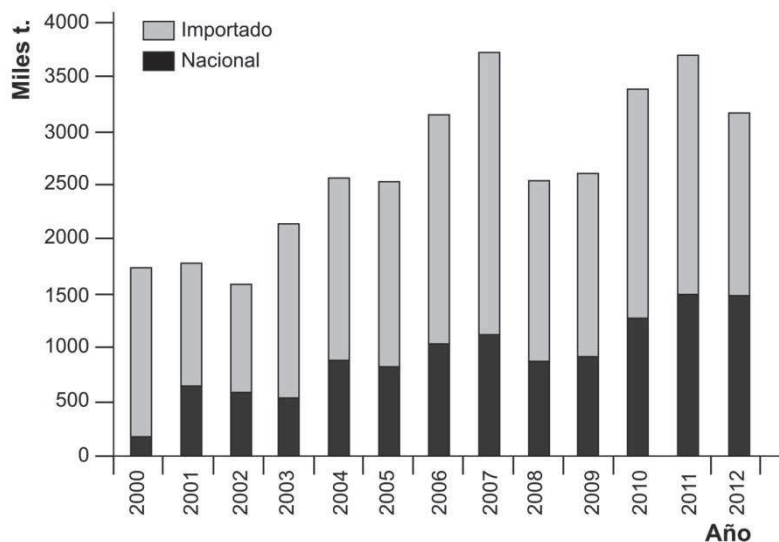


Figura 7: Evolución del consumo de fertilizantes en Argentina (González Sanjuán et al., 2013).

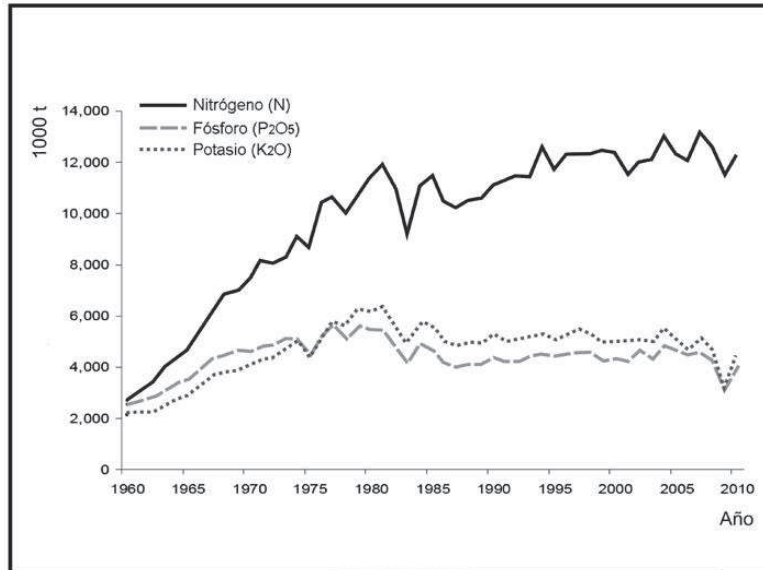


Figura 8: Evolución del consumo mundial de fertilizantes. Fuente: <http://www.ers.usda.gov>

Los principales responsables del incremento mundial de dicha demanda son los países del Este y Sur de Asia, fundamentalmente China e India (Figura 9). Esta región presenta una contribución relativa al aumento en el consumo de nitrógeno mundial de alrededor del 65 %. Asimismo, aunque Brasil sigue siendo un importador de urea relativamente pequeño, su demanda de importaciones ha ido creciendo fuertemente, a raíz de los incrementos de la producción de caña de azúcar, café y algodón.

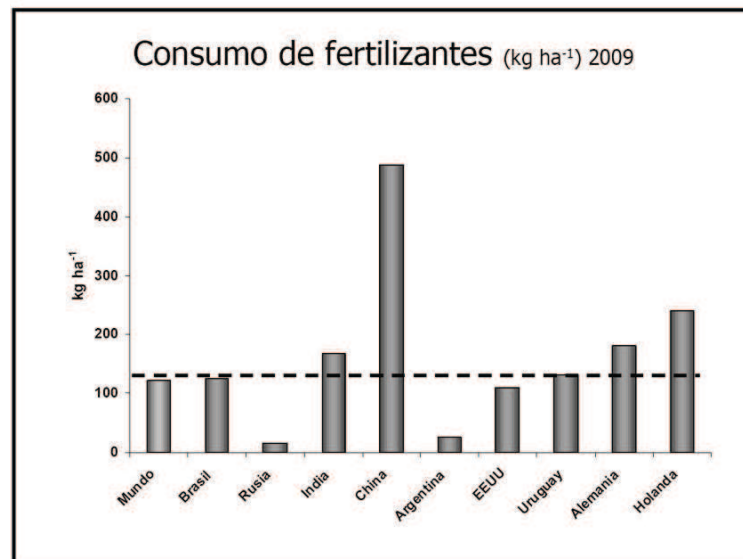


Figura 9: Principales países consumidores de fertilizantes. Fuente: <http://data.worldbank.org>

En Argentina se producen urea y otros fertilizantes nitrogenados, siendo la planta localizada en Ingeniero White, provincia de Buenos Aires, una de las más importantes del mundo. Dicha planta abastece en gran parte a nuestro país y registra saldo exportador.

Sin embargo, en Argentina existe una brecha importante entre los niveles de rendimiento logrados y potenciales, constituyendo la disponibilidad de nitrógeno en el suelo una de las principales limitantes. Por lo tanto, previendo un crecimiento de la agricultura argentina, y considerando deficiencias en los balances de nitrógeno en los suelos, se requerirá de la aplicación de mayores cantidades de fertilizantes nitrogenados para mantener e incrementar la producción agrícola nacional.

## CONCLUSIONES

Los trabajos geológicos exploratorios realizados inicialmente por YPF y posteriormente por YCF en la Cuenca Austral durante la década del setenta, permitieron localizar dos áreas con importantes recursos de lignito: áreas del Río Coyle y del curso medio del Río Santa Cruz. En ambos sectores se identificaron diferentes niveles carbonosos a través de perforaciones, dentro de los cuales se pudieron correlacionar tres niveles principales subhorizontales de lignito. Un relevamiento reciente de las áreas realizado por el INREMI y la ejecución de un sondeo testigo de verificación corroboró la importancia de estos depósitos. De los tres niveles identificados, en el sector de Río Coyle el más profundo es el de mayor importancia desde el punto de vista de su extensión, continuidad y contenido en recursos, mientras que en el sector del curso medio del Río Santa Cruz, los niveles intermedio y superior son los que presentan mayor continuidad. Entre los dos sectores, el área del Río Coyle encierra los mayores recursos estimados de lignito.

Actualmente este tipo de depósitos cobra relevancia debido a las nuevas tecnologías disponibles para la producción de energías limpias, como lo es la explotación y producción de gas “*in situ*” mediante la GSC. La continuidad de los trabajos exploratorios, en el área de la Cuenca Austral permitiría identificar con mayor precisión la potencialidad de estos depósitos a fin de evaluar su posible aprovechamiento, con el propósito de contribuir a desarrollar una nueva fuente energética. Asimismo, la ubicación de los depósitos y su magnitud ofrecen perspectivas para evaluar la instalación de plantas destinadas a producir urea y otros fertilizantes nitrogenados, ampliamente demandados tanto en Argentina como en otros países de la región.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó gracias al apoyo y al aval de la empresa Guevara y Asociados. Los autores agradecen al Dr. Isidoro B. Schalamuk por la lectura crítica del trabajo.

## LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Alfaro, G., Gantz, E.; Albornoz.; Barrientos, C.; Elgueta, S.; Kunstmann, D., 2011. Recursos energéticos geológicos no tradicionales. XVIII Congreso Geológico Argentino. 1-2.



- Bertels, A., 1970. Sobre el "Piso Patagoniano" y la representación de la época del Oligoceno en Patagonia Austral (Rep. Argentina). Asociación Geológica Argentina. Revista XXV (4): 495–501, Buenos Aires.
- Biddle, K., Uliana, M., Mitchum, R., Fitzgerald, M. y Wright, R., 1986. The stratigraphic and structural evolution of the central and eastern Magallanes Basin, southern South America. International Association of Sedimentologist, Special Publication, 8: 41–61.
- Cadenas, A., 2011. Energía limpia y carbón para el desarrollo. Inédito. ESIN Consultora S. A., 1–57.
- Camacho, H. H., Chiesa, J. O., Parma, S. G. y Reichler, V., 2000. Invertebrados marinos de la Formación Man Aike (Eoceno medio). Provincia de Santa Cruz, Argentina. Boletín de la Academia Nacional de Ciencias 64: 187–208. Córdoba.
- Carrizo, R. N., 2002. Combustibles sólidos minerales. En: M. J. Haller (Edit.) Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz. Relatorio del XV Congr. Geol. Arg., El Calafate, IV–6: 759–771. Buenos Aires.
- Cruzate, G.A. y Casas, R. 2009. Extracción de Nutrientes en la agricultura Argentina. International Plant Nutrition Institute. Informaciones Agronómicas 44:21–26.
- Echeverría, HE y H Sainz Rozas. 2005. Nitrógeno. De Echeverría, HE & FO García (eds.). Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina. pp. 69–98.
- Feruglio, E., 1949–50. Descripción Geológica de la Patagonia. Dirección General de Yacimientos Petrolíferos Fiscales, Buenos Aires. Tomo I Cap. II.
- Fleagle, J., Bown, T., Swisher, C. y Buckley, G., 1995. Age of the Pinturas and Santa Cruz Formations. 6º Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía, Actas: 129–135.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2008. Current world fertilizer trends and outlook to 2011/12. Rome.
- Furque, G., 1973. Descripción geológica de la Hoja 58b Lago Argentino. Boletín del servicio Nacional Minero y geológico N° 140: 1–49. Buenos Aires.
- Furque, G. y Camacho, H. H., 1972. El Cretácico superior y Terciario de la región austral del Lago Argentino (Provincia de Santa Cruz). 4º Jornadas Geológicas Argentinas, Actas 3: 61–75. Buenos Aires.
- Gibling, M. R., Bird, D. J., 1994. Late Carboniferous cyclothems and alluvial paleovalleys in the Sydney basin. Nova Scotia. Geological Society of America Bulletin 106, 105–107.
- González Sanjuán, M. F., Grasso A. A. y Bassi J. (2013) Fertilizantes en Argentina: Análisis del Consumo. Fertilizar N° 25
- Lombard, E., 1974. Introducción al estudio de las posibilidades carboníferas del subsuelo de la Cuenca Austral o Magallánica. Yacimientos Carboníferos Fiscales. Informe 1117 (inédito).
- Luna, P., 1978. Informe sobre los resultados de pozos ejecutados en la zona de Río Coyle, provincia de Santa Cruz. Informe Yacimientos Carboníferos Fiscales. Informe 1065: 35 (inédito). Buenos Aires.

- Luna, P., 1979. Informe sobre los resultados de 6 pozos ejecutados en la zona del curso medio del río Santa Cruz, provincia de Santa Cruz. Informe 1111: 30 (inédito). Buenos Aires.
- Malumián, N., 1999. La sedimentación en la Patagonia Extraandina. Geología Argentina (R. Caminos ed.) Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales 29 (18): 557–612.
- Malumián, N. 2002. El Terciario Marino. Sus relaciones con el eustatismo. En: M. J. Haller (Edit.) Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz. Relatorio del XV Congr. Geol. Arg., El Calafate, I-15: 237–244. Buenos Aires.
- Malumián, N., Ardolino, A. A., Franchi, M., Remesal, M., Salani, F. 1999. La sedimentación y el volcanismo terciarios en la Patagonia Extraandina: La sedimentación en la Patagonia Extraandina. Geología Argentina. En: Geología Argentina (R. Caminos ed.). Instituto de Geología y Recursos Minerales. Anales 29 (18): 557–612.
- Manassero, M., Iñiguez Rodriguez, A. y Decastelli, O., 1990. Estratigrafía y argilofacies del Cretácico superior y Terciario inferior en la Cuenca Austral. Asociación Geológica Argentina. Revista 45 (1–2): 37–46.
- Marenssi, S. A., Casadío, S. y Santillana, S., 2002. La Formación Man Aike al sur del Calafate (Provincia de Santa Cruz) y su relación con la discordancia del Eoceno medio en la Cuenca Austral. Revista de la Asociación Geológica Argentina 57 (3): 341–344.
- Marenssi, S. A., Limarino, C. O., Tripaldi, A. y Net, L., 2005. Fluvial Systems variations in the Rio Leona Formation: Tectonic and eustatic controls on the Oligocene evolution of the Austral (Magallanes) Basin, southernmost Argentina. Journal of South American Earth Sciences 19 (2005): 359–372.
- McCabe, P. L., 1984. Epositional environments of coal and coal-bearing strata. In: Rahmani, R. A., Flores, R. M. (Eds.). Sedimentology of coal and coal-bearing sequences. International Association of Sedimentology. Special Publication 7, pp. 13–42.
- Nigro, J., 2011. Informe Pozo de Exploración CRC-X1. Proyecto Río Coyle. Santa Cruz, pp: 10 INREMI (Inédito).
- Nullo, F. E. 1982. Descripción Geológica de la Hoja 59ab Graciar Perito Moreno y Cordón de los Cristales, provincia de Santa Cruz. Servicio Geológico Nacional. Inédito.
- Nullo, F. E. y Combina, A. M., 2002. Sedimentitas Terciarias Continentales. En: M. J. Haller (Edit.) Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz. Relatorio del XV Congr. Geol. Arg., El Calafate, I-16: 245–258. Buenos Aires.
- Robbiano, J., Arbe, H. y Gangui, A. 1996. Cuenca Austral Marina. 13° Congr. Geol. Arg. y 3° Congr. Explor. Hidrocarb. Geología y Recursos Naturales de la Plataforma Continental Argentina (V. Ramos y M. Turic ed.). Relatorio 17: 323–341.
- Schalamuk, I., Marchionni, D., y Correa, M, J., 2011. Reconocimiento geológico de las áreas de “Río Coyle” y “Curso Medio del Río Santa Cruz” para la exploración de depósitos de lignito. INREMI (inédito) Pp 66.

- Tauber, A., 1999. Los vertebrados de la Formación Santa Cruz (Mioceno inferior-medio) en el extremo sureste de la Patagonia y su significado paleoecológico. *Revista Española de Paleontología*, 14 (2): 173-182.
- Zambrano, J. y Urien, C., 1970. Geological outline of the basins in Southern Argentina and their continuation off The Atlantic shore. *Journal of Geophysical Research*, 75 (8): 1363-1396.

--ooOoo--