

ROL DE LA GEOLOGÍA EN EL DESARROLLO DE CHILE

INTRODUCCION

Uno de los artículos fundamentales de los Estatutos del **Colegio de Geólogos de Chile A.G.**, indica que éste debe prestar su cooperación técnica a los Poderes Públicos en materias relacionadas con la Geología.

El **Colegio de Geólogos de Chile A.G.** ha creído oportuno preparar el presente documento, en el cual se explica cómo el profesional geólogo participa en los diferentes ámbitos del desarrollo del país. El trabajo original fue realizado en el año 1997, éste corresponde a una ampliación y actualización del documento antes dicho.

Las Ciencias Geológicas tienen una directa relación con el descubrimiento, aprovechamiento y conservación de los recursos naturales. Los geólogos son profesionales que, en el Chile actual, están aplicando sus conocimientos y destrezas a una variedad de aspectos. Están dedicados a la búsqueda, evaluación y aprovechamiento de los recursos minerales y energéticos. Su papel es muy importante en la exploración y explotación de los recursos hídricos, especialmente las aguas subterráneas; están identificando y evaluando los riesgos naturales (riesgos volcánicos, sísmicos, etc.); participan en la caracterización de los macizos rocosos y suelos que sirven de base a las obras civiles, confeccionan los mapas de la geología básica, elemento cartográfico esencial y primario para temáticas geológicas más avanzadas, entregan su saber e investigaciones a jóvenes que serán futuros geólogos e ingenieros y, por último, han entrado a participar decididamente en la evaluación de impacto ambiental, en su relación con el desarrollo del país.

El creciente desarrollo económico de Chile, de los últimos 20 años, ha encontrado en el profesional geólogo un partícipe fundamental, especialmente en el área minera. Creemos que su acción en el futuro deberá acrecentarse sustancialmente. Sin duda que su labor en la minería deberá seguir siendo significativa, pero su participación en los problemas de Geología Aplicada (Geotecnia, Hidrogeología, Riesgos Naturales, Estudios Geoambientales), deberá incrementarse notablemente. Por otro lado, creemos que resulta imperativo reforzar las labores en el campo de la Geología Básica, infraestructura geológica, necesaria para el desarrollo de los trabajos geológicos aplicados (Minería, Geotecnia, etc.).

El Colegio de Geólogos de Chile A.G. entrega el presente documento, con el ánimo de informar y, de alguna manera, hacer resaltar el papel que le ha cabido a los profesionales geólogos en el estado actual del desarrollo del país.

Este trabajo ha sido elaborado principalmente por los siguientes profesionales Geólogos:

Editor:	Carlos Llaumett
Minería Pública:	Carlos Llaumett, Francisco Camus, Juan C. Marquadt, Patricia Narvaez, Mario Serrano.
Minería Privada:	Carlos Llaumett
Geología Aplicada a la Ingeniería:	Pablo Talloni
Hidrogeología:	Gerardo Díaz, Patricio Villarroel
Energía Geotécnica:	Nelson Muñoz, Carlos Llaumett
Energía Nuclear:	Mario Serrano, Heriberto Fortin
Hidrocarburos:	Carlos Llaumett, Nelson Muñoz
Servicios:	Carlos Llaumett, Sergio Iriarte
Docencia e Investigación:	Mario Pereira, Jorge Oyarzún, Francisco Munizaga, Luis A. Quinzio, Wolfgang Griem, Michael Dobbs

LA MINERIA

Presentación

El crecimiento simultáneo de la población del mundo y su nivel de vida, necesita cantidades crecientes de materias primas y de energía. Sin duda que los recursos minerales son uno de los principales. Se ha constatado, por ejemplo, que desde 1950 la producción minera mundial ha aumentado en una tasa promedio de 3% anual. En el caso de Chile, este índice para los últimos años ha sido entre 5 y 10%.

Los recursos minerales no son renovables, luego se agotan. En consecuencia, constantemente hay que descubrir y delinear nuevos recursos. Es tarea de la Geología y, dentro de ella, de la Exploración, la de ubicar los minerales requeridos por la demanda.

La especial configuración física y geológica de nuestro territorio, establece que el destino del país está indisolublemente ligado al desarrollo amplio de la minería. Ella ha sido por largo tiempo, uno de los pilares fundamentales de la economía nacional, tanto por su capacidad para generar divisas, como su importante aporte a los recursos públicos. Por otro lado, la minería atrae grandes volúmenes de inversión y, por ello, se ha transformado en un nexo primordial entre nuestra economía y la economía mundial.

Chile posee un territorio que es pródigo en recursos minerales. Se ha establecido que en cobre, renio, molibdeno, sales de nitrato, de litio, de selenio y yodo, nuestro país posee de las principales reservas del globo. El cobre representaría un 35% de esos recursos, el salitre el 100%, el litio y el renio el 40% de las mismas. Todos estos minerales ocuparían el primer lugar en volumen de recursos del globo. El molibdeno ocupa un tercer lugar, con un 20% de dichas reservas. Además, existen en la corteza terrestre de Chile, importantes recursos de yodo, oro, plata y hierro. Por otra parte, Chile es el principal productor de cobre del mundo, habiéndose alcanzado durante 1999 un total de 4,4 millones de toneladas (35% de la producción mundial). También es el líder en la producción de nitrato de K y Na (100%) y se ubica en segundo lugar en la extracción de renio, litio, yodo; tercero en molibdeno, décimo en plata y treceavo en oro.

La participación de la minería en el PIB, en los últimos años, ha alcanzado entre 8 a 9% y el valor de las exportaciones mineras para el año 1999 fue de US\$6.800 millones, es decir, 43% del total de las mismas.

En el periodo 1975 – 1997 hubo una intensa actividad en las faenas de exploración minera. No menos de unas 70 compañías extranjeras y unas 15 nacionales, exploraron intensamente en el país. Entre los años 1998 y 1999 estas investigaciones decrecieron debido a la crisis asiática y a la fuerte disminución de los precios del cobre y del oro. Se ha estimado que el gasto total en exploración, para el período 1975-1999 alcanzó los US\$2.000 millones. Fruto del trabajo anterior, ha sido el descubrimiento de nuevos depósitos, los que una vez desarrollados, han incrementado notablemente los índices de producción del país, por ejemplo, el cobre desde 1975 a 1999 creció de 0.9 Mt a 4.4 Mt (390%) y el oro entre 1975 y 1996 aumentó de 4 t a 52,4 t (1.200 %).

Por último, cabe destacar que la inversión extranjera materializada en minería, para el período 1975-1999 ha sido de aproximadamente US\$14.000 millones, lo que constituye un 45% del total.

Sin duda que la minería ha tenido un papel muy destacado en el desarrollo económico de Chile y, dentro de ella, la Geología y la Exploración han sido de preponderante importancia.

MINERIA PUBLICA

CORPORACION NACIONAL DEL COBRE DE CHILE **CODELCO**

Definición e Importancia

Codelco-Chile es una empresa cuyo negocio principal es la exploración, desarrollo y explotación de recursos mineros de cobre y subproductos, su procesamiento hasta cobre refinado y su comercialización.

Su misión es maximizar, en una perspectiva de largo plazo, la generación de excedentes económicos y su aporte al Estado. Su propósito es mantenerse como una empresa atractiva, tanto para sus dueños como para sus trabajadores, clientes, proveedores, subcontratistas y quienes se relacionan con ella.

CODELCO es la principal empresa minera en Chile y la más importante productora y comercializadora de cobre del mundo. Ha desempeñado y desempeñará, por largo tiempo, un papel clave en la economía y desarrollo del país. Tradicionalmente CODELCO entrega al FISCO excedentes del orden de los US\$1.000 millones, siendo estos para el periodo 1990 – 1999 la cifra de US\$9.399 millones y para toda su historia del orden de los US\$22.000 millones.

Actualmente, mantiene cinco divisiones en producción, las que en conjunto, en el año 1999 alcanzaron un total de 1.512.000 toneladas de cobre fino, lo que representó el 34,5% de la producción nacional y el 12,2% de la producción mundial. En este mismo año, CODELCO tuvo además participación del 49% de la producción extraída en El Abra (donde está presente en la modalidad de joint-venture) por lo que su producción total alcanzó a 1.615.000 toneladas. Es necesario también mencionar que como subproductos asociados, CODELCO produce plata, oro, molibdeno, renio y ácido sulfúrico.

La producción de CODELCO de cobre y molibdeno para los últimos 9 años se entrega en el cuadro siguiente:

Producción CODELCO de Cobre y Molibdeno (x 1.000 t)										
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<i>COBRE</i>	1.195	1.125	1.156	1.140	1.134	1.160	1.221	1.231	1.403	1.512
<i>MOLIBDENO</i>	13,8	14,4	14,8	14,9	15,9	16,7	15,3	18,8	21,6	23,8

La producción por Divisiones para el mismo periodo se ilustra en el cuadro expuesto a continuación:

Producción de cobre CODELCO por Divisiones (x 1.000 t)										
División	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<i>Chuquicamata</i>	680	641	628	617	606	610	632	650	650	630
<i>El Teniente</i>	300	279	314	305	309	323	345	343	339	346
<i>Andina</i>	119	114	129	134	136	141	154	145	164	249
<i>El Salvador</i>	95	91	85	84	83	86	90	88	88	92
<i>Radomiro Tomic</i>								4	162	190

La Corporación del Cobre de Chile, como empresa, es el principal productor de cobre del mundo y el segundo en extracción del molibdeno. La visión de futuro de esta empresa se encamina a consolidar su posición de liderazgo en la producción de los referidos metales, mantenerse como una de las compañías más competitivas y de menores costos de la industria e incrementar aún más su contribución al Estado chileno. Por otro lado, CODELCO considera que en un negocio centrado en la explotación de recursos no renovables, resulta indispensable llevar a cabo exploraciones geológicas que permitan renovar la elevada magnitud de recursos mineros que se consumen año a año y, si es posible, aumentar el volumen de esos recursos, para desarrollar nuevos proyectos.

Desarrollo Histórico y Evolución

Por razones variadas, la Gran Minería de Chile se identifica con la minería del cobre. Hasta mediados de los años 60, las empresas de la Gran Minería del Cobre eran grandes consorcios internacionales que dominaban el proceso desde la exploración, pasando por su explotación y beneficio, hasta colocar el producto cobre y el subproducto molibdeno, en los mercados mundiales.

En 1966 se dictan las leyes N°16.425 y 16.464, que crean la Corporación del Cobre y que regulan las nuevas relaciones entre el Estado y las empresas extranjeras. En ellos, se establecen sociedades mixtas entre las mismas, se fija un plan de inversiones para elevar la producción de cobre a 1.000.000 t por año y se entrega a Chile la facultad de comercializar los productos.

En 1971, el Congreso Nacional, por unanimidad, aprobó la “nacionalización” de las empresas de la Gran Minería, pasando el Estado a hacerse cargo del manejo de las mismas.

En 1976 se creó la Corporación Nacional del Cobre – CODELCO – que asumió la administración, operación y comercialización de la producción.

En Mayo de 1992 se dicta la ley N°19.137 que, entre otras cosas, autoriza a CODELCO para disponer de las pertenencias mineras de su dominio. Se excluye de esta ley a aquellas en actual explotación y aquellas que CODELCO determine destinar a planes de reposición o expansión. Por otro lado, autoriza a CODELCO para realizar asociaciones con terceros, en las propiedades detalladas más arriba.

A partir de este momento, CODELCO comienza una gran actividad, tanto en la formación de asociaciones de explotación (El Abra, Agua de la Falda), en inversión en nuevos proyectos (Radomiro Tomic) y en numerosas asociaciones de exploración con terceros (hasta el momento se han producido 20 asociaciones de las cuales actualmente están vigentes 8). Junto a lo anterior se inicia una dinámica y maciza política de exploración geológica la que en los últimos 10 años ha tenido un costo de aproximadamente US\$140 millones.

Rol del Geólogo

Codelco-Chile es la empresa que produce más cobre en el mundo, por lo que anualmente explota alrededor de 160 millones de toneladas de mineral. Lo anterior presupone un trabajo geológico en exploración y evaluación de recursos que permita mantener esos niveles de producción y, si es posible, ampliarlo. CODELCO así lo ha entendido y ha entrado a una decidida política de exploración, otorgándole a esta actividad un carácter estratégico. La exploración se ha transformado en parte integral del negocio de la Corporación, en la perspectiva de mantener los recursos requeridos actualmente por las divisiones, aportar nuevos recursos mineros y desarrollar asociaciones que aumenten el valor de la empresa.

De esta manera, existe un amplio y detallado trabajo de exploración y apoyo en las minas de producción, en el cual se realizan labores, tales como: estimación de recursos y reservas, control de calidad de los minerales, exploración por nuevos recursos, apoyo a problemas de geotécnica (estabilidad de taludes, geomecánica de rocas, agua subterránea), asesoría a problemas geológicos – metalúrgicos y de ingeniería.

En el caso de la Exploración por nuevas áreas, desde 1991 se ha realizado una vertiginosa actividad prospectiva, principalmente en búsqueda de nuevos yacimientos del tipo cobre-porfírico, localizados en las I, II, III, IV, VI regiones. También se comenzó a indagar en proyectos de exploración en Argentina, Perú, Ecuador y México.

El trabajo desplegado hasta el momento, ha permitido el descubrimiento de cuatro nuevos depósitos: M. M. al sur de Chuquicamata, Damiana, en los alrededores de El Salvador, Opache en las cercanías de Calama y Gaby, a unos 130 km al sur de Chuquicamata.

El presupuesto anual de exploración de CODELCO ha variado entre 10 y 18 millones de dólares y tal como se dijo antes, en los últimos 10 años el gasto ha sido de US\$140 millones.

Los recursos demostrados de CODELCO corresponden a 97 millones de toneladas de cobre fino y los identificados son 185 millones de toneladas de cobre fino.

La dotación de geólogos de la Corporación es la siguiente:

En producción : 44 geólogos de planta y 44 contratistas, con un total de 88
En exploración : 23 geólogos de planta y 37 contratistas, con un total de 60
Total Codelco : 67 geólogos de planta, 81 contratistas y 148 como total

Perspectivas

Los trabajos de geología y de exploración dentro de Codelco tienen un futuro muy promisorio. En consecuencia, a los profesionales geólogos les corresponderá realizar tareas de gran envergadura. Los geólogos de producción deben mantener y optimizar la calidad del mineral que se extrae y que llegará en los próximos años, a cifras cercanas a las 200.000.000 t por año. Por otro lado, teniendo recursos geológicos por aproximadamente 8.000 millones de toneladas, la selección de esas reservas y la factibilidad de los proyectos, será una labor de mucha importancia.

Los geólogos de exploración deberán continuar con los estudios de las áreas seleccionadas para poder mantener y, ojalá, aumentar los niveles de producción de la empresa. Se proyecta, para los próximos años una producción de CODELCO de aproximadamente 1,8 millones de toneladas de cobre fino. Por otro lado, es indispensable que se identifiquen, exploren y evalúen los aproximadamente 2 millones de hectáreas que mantienen como concesiones mineras (13% del total de Chile). También se deberá continuar con la exploración básica y avanzada de los nuevos y numerosos

proyectos concebidos y en ejecución, que se han generado en los últimos 10 años. Por último y como consecuencia del plan de la Corporación de consolidar su posición como empresa minera de rango mundial e inserta dentro del proceso de globalización, los geólogos tendrán un papel muy destacado en la internalización de CODELCO. Lo anterior significa trabajos de exploración principalmente en países como México, Perú y Brasil.

MINERIA PUBLICA

EMPRESA NACIONAL DE MINERÍA

ENAMI

Definición e Importancia

La Empresa Nacional de Minería (ENAMI) es una empresa del Estado, que fue creada con el objetivo de desarrollar una labor de fomento y apoyo a la Pequeña y Mediana Minería del país. Su misión consiste en impulsar y vigorizar la actividad minera, contribuyendo a hacer sustentables los negocios y empresas del segmento aludido. Esta labor la cumple a través de las siguientes acciones:

- Dar apoyo a la exploración y explotación de los recursos mineros. Esto lo realiza mediante estudios geológicos, asesorías técnicas, asistencia crediticia y aporte de activos.
- Comprar los minerales producidos por los mineros, como también los productos de concentración.
- Realizar el tratamiento metalúrgico de los minerales producidos por los mineros, procesándolos en sus plantas.
- Fundir y refinar productos tanto de la pequeña como de la mediana y gran minería.
- Comercializar los productos mineros.

En la actualidad, la Empresa Nacional de Minería, cuenta con 4 plantas de tratamiento y es propietaria de dos importantes fundiciones: Paipote y Ventanas y de la única refinería existente en el país: Ventanas.

Algunos indicadores de producción se dan en las tablas siguientes:

ENAMI – Producción de cobre 1992 – 1999 (x 1000)
corresponde a mineral y concentrados / precipitados en cobre fino

	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<i>Pequeña minería</i>	51,7	53,4	47,4	41,0	33,5	26,5	25,0	31,6
<i>Mediana minería</i>	106,3	80,5	75,9	84,2	98,4	95,7	72,9	63,3
TOTAL	158,0	133,9	123,3	125,2	131,9	122,2	97,9	94,9

ENAMI – Tratamiento de Concentrados en Paipote y Ventanas

SECTOR	Concentrados t (x 1000)	
	1996	1998
<i>Pequeña minería</i>	103 (16%)	47 (7%)
<i>Mediana minería</i>	371 (56%)	276 (41%)
<i>Gran minería</i>	189 (29%)	352 (52%)
Total	663	675

Producción de ENAMI, cobre electrolítico (x 1000)

1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
213,6	214,8	214,7	207,8	215,0	289,7	296,7	309,6

Uno de los principales elementos en la acción de ENAMI es la labor de fomento a los pequeños y medianos mineros. A mediados de la década del 90, hubo un rediseño de esta política transitando desde un concepto asistencial (subsidios y arreglos tarifarios) hacia un concepto de fomento al desarrollo productivo. En este esquema se hace muy importante en la sustentabilidad futura de los Proyectos el conocimiento de los recursos minerales. Así, la exploración, y en consecuencia, los geólogos y los estudios de su competencia, cobran una importancia insustituible. A través de esos estudios se puede conocer (localizar, cuantificar, caracterizar, etc.) el recurso minero, etapa necesaria para evaluar y planificar técnica y económicamente la viabilidad de la explotación.

Desarrollo Histórico y Evolución

La Empresa Nacional de Minería es la heredera natural de otras dos empresas existentes anteriormente: Caja de Crédito Minero y la Empresa Nacional de Fundiciones. Desde el año 1960 y bajo diferentes modalidades, ha venido fomentando la exploración, explotación, beneficio, fundición y comercialización de los productos minerales.

ENAMI en 1968 fue la primera empresa del Estado en iniciar un Departamento de Geología. Este Departamento, que comienza con dos geólogos, crece en 1970 al recibir a los geólogos que habían trabajado para el Proyecto Chile 21, entre Naciones Unidas y ENAMI, alcanzando a tener en 1974, un total de 18 profesionales.

Este grupo de geólogos, durante el período 1970-1976 tuvo una fuerte y destacada actividad en el estudio, exploración y desarrollo de proyectos encaminados a abastecer las plantas de beneficio de la empresa, como también en la generación e investigación de nuevos proyectos de exploración. Es necesario destacar la participación de ellos en proyectos mayores como Andacollo (cobre), El Indio (oro), Guanaco (oro), Punta del Cobre (cobre), Manto Verde (cobre). El Sauce (cobre) y un par de decenas de proyectos o depósitos de volúmenes menores pero de gran importancia social. Uno de los mayores éxitos obtenidos con el trabajo desarrollado en ese período, fue el descubrimiento del yacimiento El Indio (1974) y la postulación de la importancia de la faja metalogénica de depósitos epitermales ubicados en la Cordillera Andina de la III y IV regiones geográficas de Chile.

En la mitad de la década del 70 y debido al cambio político que se produce en el país, también se establece una modificación sustancial en el esquema económico. El Estado pasa a tener un papel subsidiario y al sector privado se le asignan roles relevantes en las tareas de exploración y desarrollo minero. En ese contexto, ENAMI disminuye su rol de minería y sus tareas de exploración y desarrollo se reducen drásticamente. Este esquema cambia en 1990, año en que se inicia una etapa más activa en las tareas de geología y desarrollo minero; se establece una fuerte participación en las labores de asesoría y se da un decidido apoyo a la exploración minera de prospectos distritales y a la exploración de proyectos puntuales de interés, tanto de ENAMI como de privados.

La crisis económica de finales de la década (1997-1998) y la fuerte caída de los precios de los metales impacta fuertemente a la pequeña y mediana minería y por ende a ENAMI. La producción de estos segmentos baja considerablemente y los planes de exploración y desarrollo sufren una notoria disminución. En la actualidad se espera un repunte en las actividades de producción y exploración del sector de la Pequeña Minería. Por un lado

existe un pequeño crecimiento en los precios de los metales (especialmente del cobre) y por otro lado se ha anunciado por parte de ENAMI el establecimiento de una política de Fomento más acorde con los tiempos y las circunstancias en que se desenvuelve el referido Sector. Habría un aumento del presupuesto para desarrollo minero (especialmente exploración), se incentivarán la producción mediante la fijación de tarifas adecuadas y se fijaría una rebaja en los costos de tratamiento e insumos (ácido sulfúrico).

Rol del Geólogo

La labor que los geólogos desarrollan en el pasado y que es posible lo realicen en el futuro en el área del ámbito de ENAMI, es importante, ya que permite:

- Potenciar nuevas áreas mineras de interés.
- Conocer y evaluar geológicamente los depósitos del sector pequeña y mediana minería.
- Detectar mayores y mejores reservas. Establecer la forma, tamaño y leyes del yacimiento.
- Los items anteriores permiten: Planificar adecuadamente la explotación de los depósitos en el corto y largo plazo. Aumenta la productividad y disminuye los costos.
- Asegura el abastecimiento pleno de los planteles de beneficio.

Entre el año 1990 hasta el año 1998 trabajaban en ENAMI, 5 profesionales geólogos de planta y 5 geólogos a honorarios, en forma permanente. Se contaba además, con unos 16 contratistas que ocupaban aproximadamente un 40% de su tiempo laboral, en trabajos encargados por ENAMI. Actualmente existe 3 geólogos de planta y 2 geólogos a honorarios.

Perspectivas

ENAMI es una empresa del Estado, que tiene como objetivo, además de otros propósitos, el fomento de la pequeña y mediana minería del país y cuya misión es impulsar, vigorizar y contribuir a hacer sustentable el sector de la minería antes referido. Para cumplir con su objetivo y su misión, esas actividades se deben concebir como un negocio que comienza con el conocimiento de los recursos minerales. De acuerdo con lo anterior, la exploración minera y la asesoría geológica cobran una importancia insustituible en las tareas de

fomento y su aplicación se constituye en el medio a través del cual la actividad minera de pequeña y mediana escala, puede alcanzar un desarrollo sostenido y estable en el tiempo. Según lo anterior, el papel del geólogo dentro del ámbito de ENAMI y en su proyección a la minería que ésta representa, debiera ser fundamental.

MINERIA PRIVADA

Definición e Importancia

Aproximadamente desde el año 1980, el Sector Minero Privado ha experimentado un crecimiento acelerado, fruto de las extraordinarias condiciones geológicas del territorio chileno y del ambiente propicio para las inversiones. El dinamismo sectorial ha sido liderado por la inversión extranjera, la que entre 1974 y 1999 destinó aproximadamente US\$14.870 millones, tanto a la exploración como al desarrollo de proyectos.

Mientras en la década del 70, las inversiones anuales en exploración alcanzaban cifras del orden de US\$5 a US\$10 millones, el año 1997 se llegó aproximadamente a US\$200 millones, correspondiéndole al sector privado un 80% de esa cifra.

El aumento de la producción, tanto de cobre como de metales preciosos y no metálicos, desde 1990 a la fecha, ha sido espectacular. Mientras que en los comienzos de la década de los 90, con una producción de aproximadamente 1.5 millones de toneladas de cobre, la minería pública aportaba un 78% de ella, en el año 1999 con una producción de 4.4 millones de toneladas, el 65% de esa producción proviene de la minería privada (2868 millones toneladas). En el caso del oro, la minería privada creció de 2 toneladas a 50 toneladas, en el año 1996 (2400%). En el caso de los no metálicos, como salitre, yodo, litio, carbonato de calcio y otros, prácticamente el 100% proviene del sector privado de la minería.

Entendemos que el gran incremento en la producción de minerales metálicos y no metálicos del país, ha sido decisivo, además del volumen de inversión, el alto nivel (en calidad y cantidad) que han alcanzado los trabajos de exploración. Desde la mitad de la década del 70, no menos de 70 compañías extranjeras y unas 12 nacionales han estado explorando en Chile, con presupuestos entre US\$0.5 y 20 millones por año. Los geólogos nacionales han tenido una destacada participación en estos trabajos, tanto en las tareas prospectivas propiamente tal, como posteriormente en los trabajos de desarrollo y producción.

Desarrollo Histórico y Evolución

Hasta comienzos de la década del 70, el Estado y las organizaciones públicas jugaban un papel muy preponderante en la exploración, desarrollo y producción de los minerales. Entre los años 74 y 75 se produce un cambio sustancial en el esquema económico a desarrollar en el país. Como consecuencia de lo anterior, el sector privado toma el liderazgo en la exploración y más tarde en el desarrollo y producción. Para esa fecha, Chile crea los mecanismos necesarios, tanto políticos como tributarios y técnicos, para atraer inversionistas extranjeros y nacionales.

Desde la mitad de los 70 comienza una febril actividad exploratoria, especialmente en la búsqueda de cobre y metales preciosos. Para esos trabajos se hace uso de buenos presupuestos, de tecnología de punta y de conceptos geológico-metalogénicos de avanzada. La perforación de sondajes tiene un aumento exponencial, llegando a perforarse el año 1996 un millón de metros.

Los trabajos anteriores rinden sus frutos y esto lleva al descubrimiento de varias decenas de nuevos depósitos de mineral y, como consecuencia, la formulación de nuevos proyectos y el desarrollo y posterior producción de los mismos.

En el caso del cobre es notorio este crecimiento lo que queda bien expresado en la tabla siguiente:

Producción Chilena de Cobre Fino (x 1.000 t)										
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<i>Estatal</i>	1.195	1.125	1.156	1.140	1.134	1.160	1.221	1.231	1.403	1.512
<i>Privado</i>	421	689	777	916	1.086	1.328	1.895	2.213	2.374	2.868
Total	1.616	1.814	1.933	2.056	2.220	2.488	3.116	3.444	3.777	4.380

La producción de los metales preciosos experimentan un crecimiento gigantesco. El oro con una producción de 2 a 3 t anuales en la década del 70, se eleva a 53 t el año 1996. Esto queda graficado en el cuadro siguiente:

Producción Chilena de Oro y Plata (x 1.000 t)										
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<i>Oro</i>	27,5	28,9	34,4	33,6	38,7	44,6	53,1	49,4	44,9	41,6
<i>Plata</i>	654	676	1.024	970	983	1.041	1.147	1.191	1.091	1.249

La producción de los metales preciosos proviene en un 95% de la Minería Privada.

Los ejemplos anteriores se repiten significativamente con la minería de los No Metálicos. Esta ha vivido un destacado proceso de auge caracterizado por una importante inversión destinada a diversos productos y un aumento de los niveles de producción. Los No metálicos representan actualmente entre el 8 y 9% del valor total de la producción minera y los niveles de inversión en la última década alcanzaron aproximadamente a US\$1.000 millones. Por otro lado el valor de las exportaciones para el año 1999 fue de US\$460.000.- Esta minería proviene totalmente del Sector Privado.

En el cuadro siguiente se dan detalles de esta favorable evolución:

Producción Chilena de Principales Minerales No Metálicos (x 1.000 t)			
Producto	1990	1994	1998
Carbonato de Calcio	3.775	6.305	5.998
Carbonato de Litio	9,0	10,4	28,3
Cloruro de Sodio	1.834	3.177	6.207
Nitratos	769	822	881
Puzolana	305	451	912
Sulfato de Sodio	58,5	43,1	51,9
Yeso	253	551	780
Yodo	4,6	4,8	9,8

Rol del Geólogo

No cabe ninguna duda que el geólogo que trabaja en el sector privado de la Minería ha sido el protagonista principal de la dinámica actividad de exploración que se ha suscitado en estos últimos 20 años. Ellos han podido definir y seleccionar las mejores y más expectantes áreas de exploración. Han concluido en una mejor comprensión de la metalogénesis chilena y han incorporado al ámbito económico y científico, nuevos modelos de depósitos y génesis de yacimiento (valga la mención para el caso de la faja de Maricunga y el distrito El Indio).

Se han descubierto 5 impresionantes depósitos: El Indio, La Escondida, Collahuasi, Pascua y Cerro Casale. La revisión de antiguos proyectos ha producido un notable incremento de sus volúmenes, es el caso de Pelambres y Disputada. Se han puesto en evidencia aproximadamente, otros 60 depósitos de interés, de los cuales 32 corresponden a cobre y 18 a metales preciosos.

Hasta el año 1997 el volumen de geólogos que trabajaba en la minería privada era muy importante. En ese sector participaban alrededor de 530 geólogos, de los cuales aproximadamente 210 trabajaban en producción y 320 en exploración. De los 530 geólogos, una cifra cercana a los 100 eran extranjeros. Con la crisis asiática de los finales del 97 y la caída de los precios de los metales se produce una crisis ocupacional en los geólogos mineros. Numerosas compañías extranjeras y nacionales reducen el número de profesionales en producción y un porcentaje importante disminuye notablemente las faenas de exploración. Aproximadamente medio centenar de compañías extranjeras abandonan el país. En los finales del año 1999 se vislumbra un pequeño repunte en las faenas de exploración y por ende en las actividades de los geólogos.

Actualmente se estima en unos 450 los geólogos que están en la Minería Privada, de los cuales unos 200 están en producción y unos 250 en exploración.

Perspectivas

Estimamos que en Chile el sector privado seguirá con un nivel de inversión adecuado, tanto en producción como en exploración, ya que nuestro país muestra excelentes condiciones de ambiente geológico y condiciones político-económicas estables. Su política monetaria es sana, su balance fiscal y las tasas de cambio, son favorables. La ley minera regula adecuadamente al prospección, el desarrollo y las operaciones mineras. El recurso humano y la infraestructura especializada son favorables para cualquier desarrollo minero. Por otro lado, los geólogos chilenos han mostrado un gran profesionalismo y han tenido notables aciertos en sus trabajos.

En los últimos 2 años los niveles de inversión en exploración han sido bastante menores que el promedio de los 10 años anteriores. Esto ha sido consecuencia de los deprimidos precios de los metales y las políticas de fusión y globalización de las empresas que privilegian el concepto de "Oportunidades de Negocio". Sin embargo estimamos que en estos momentos que se está produciendo un alza en los precios del cobre, un desgaste de los stocks y la falta de Proyectos, la Exploración nuevamente mostrará un crecimiento importante.

Las inversiones en minería, para los próximos años, se visualizan entre US\$3.000 y US\$5.000 millones. La producción privada aumentará levemente y se ha establecido que para el año 2003 la producción de cobre estará en nivel de los 5 millones de toneladas, correspondiéndole al sector privado un 70% de dicha producción. En cuanto al oro, se ha

estimado que llegue al nivel de 65 toneladas anuales y en el cual el sector privado participará con un 98%.

De acuerdo a las líneas anteriores, en el futuro a los profesionales geólogos les cabe un papel de primer orden, tanto en los trabajos de producción como de exploración.

GEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA

Presentación

El proceso expansivo que se ha producido en la economía chilena en los últimos 20 años, ha permitido avanzar en una etapa de crecimiento y desarrollo sostenido.

En este desarrollo, resulta imprescindible la modernización de la infraestructura pública y productiva. Es así, como este crecimiento ha estado acompañado de la planificación y construcción de nuevas obras civiles: proyectos hidráulicos, carreteras, tranques, túneles, etc. Por otro lado, el espectacular desarrollo del área minera ha requerido de diversos estudios estructurales, de ingeniería civil, de aguas subterráneas, tranques de relaves, geotécnica del macizo rocoso, etc. Todo el desarrollo anterior debe estar enmarcado en un ambiente sustentable.

En cada uno de los aspectos nombrados más arriba, han tenido un papel destacado los geólogos de ingeniería.

Se anuncia que las inversiones en infraestructura, para los próximos 20 años, pueden alcanzar a los US\$100.000 millones; sólo en generación hidroeléctrica se está pensando en la incorporación de otras 20 centrales.

Sin duda que la participación de los geólogos aplicados a la ingeniería, deberá ser muy significativa.

GEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA

Definición e Importancia

La Geología Aplicada a la Ingeniería o Geología de Ingeniería se orienta al conocimiento y resolución de los problemas tecnológicos previos y necesarios al aprovechamiento, uso y conservación del medio geológico, relativos a una gran variedad de obras de infraestructura pública y/o privada (túneles, canales, presas, caminos), industria, minería, desarrollo urbano y/o energético.

Las peculiares condiciones geográficas, climáticas, morfológicas, geológicas, hidrológicas, tectónicas, sísmicas y volcánicas de nuestro país, han impuesto severas restricciones a la planificación, diseño y construcción de obras civiles, en el marco de complejos ambientes caracterizados por la presencia de suelos y rocas cuyas condiciones de fundación y estabilidad exigen estudios y/o tratamientos especiales. En el siglo pasado, esta adversidad fue superada recurriendo al simple sobredimensionamiento de las obras, particularmente en lo que compete a las estructuras de fundaciones tanto viales como ferroviarias, puentes, túneles, terraplenes, sistemas de saneamiento o drenaje, obras portuarias, aeropuertos, vivienda, irrigación, industria, etc. Como consecuencia de ello, muchas de estas obras de ingeniería aún persisten satisfaciendo a cabalidad las funciones para las cuales fueron diseñadas.

Con el transcurrir del tiempo, los mayores costos de las obras civiles con cargo al sobredimensionamiento, paulatinamente fueron adquiriendo mayor relevancia y atención, tanto por parte de los ingenieros abocados a los diseños, como por las instituciones o personas encargadas de proporcionar las respectivas fuentes de financiamiento. Por otro lado, desde la mitad de la década del 70, hasta el presente, el auge de la minería en nuestro país ha puesto de manifiesto la valiosa contribución de la Geología Aplicada a la Ingeniería y la Ingeniería Geotécnica en la Planificación Minera, tanto a corto, mediano y largo plazo que se traduce en una notable disminución de los costos de explotación y en una mayor seguridad para el personal que labora en dichas minas. En la actualidad hay un claro consenso sobre la necesidad de prestarle atención a los aspectos ambientales de los proyectos de ingeniería civil (obras de infraestructura), como también de los mineros y allí, los componentes geotécnicos e hidrogeológicos están participando activamente en los estudios de evaluación de impacto ambiental.

Desarrollo Histórico y Evolución

Tal como ha ocurrido en muchos países, la *Geología Aplicada a la Ingeniería* comienza a desarrollarse en Chile cuando, tanto el Estado como los privados empiezan a tomar conciencia respecto del permanente riesgo al que sus obras civiles estaban sometidas, en un país en el que la actividad sísmica, volcánica y los procesos de remoción en masa se manifiestan en forma recurrente, comprometiendo la vida, seguridad y bienes de las personas o poblaciones.

Es a partir de la década del 30 que la Ingeniería Civil chilena asume un rol preponderante en la planificación, diseño y construcción de las nuevas obras civiles públicas y privadas. Posteriormente, se introducen algunas normativas y procedimientos destinados, muy particularmente, a incrementar las condiciones de seguridad operacionales de las obras, por la vía tanto de mejorar el conocimiento de las condiciones de fundación y estabilidad de suelos y rocas, régimen hidrológico, actividad sísmica, como de la introducción de conceptos probabilísticos junto a novedosas técnicas de prospección, identificación, delimitación y caracterización de suelos y rocas y determinaciones de parámetros geológico-geotécnicos, tanto “in situ” como en el laboratorio. Contemporáneamente, algunas universidades chilenas gradualmente comenzaron a introducir en sus programas de estudios, conocimientos básicos referidos a la mecánica de suelos.

Hacia mediados de siglo, la planificación de numerosas obras civiles, tanto en el campo de las actividades industriales, mineras, energéticas, como de las obras de infraestructura pública, resultó muy propicia para poner en práctica las tecnologías de reciente desarrollo. Numerosos y destacados ingenieros chilenos y extranjeros trabajando en nuestro país, lideraron esta actividad. Admirables al respecto, resultan las bases conceptuales proporcionadas por los ingenieros Sres. Ricardo Fenner, Juan Bruggen, Héctor Flores, Jorge Muñoz Cristi y más tarde Juan Karzulovic, quienes proporcionaron el necesario apoyo geológico-geotécnico para materializar la posterior construcción de un importante número de obras civiles: centrales hidroeléctricas Pilmaiquén, Cipreses, Isla, Abanico, Rapel, túneles de Chacabuco, Zapata, Palos Quemados y Juncal; embalses Conchi, Cogotí, Recoleta, Puclaro, Yeso, Rungue y Batuco. La actividad realizada por todos ellos, admite ser considerada como precursora de la Geotecnia en Chile.

En la mitad de la década del 50, la creación de la carrera de Geología en la Universidad de Chile debe ser considerada como el hito real de partida para esta actividad en nuestro país. El mejor conocimiento de las Ciencias de la Tierra, derivó en un paulatino interés por el desarrollo de la geología y geotécnica y su aplicación a la planificación, diseño, construcción, operación y mantención de obras civiles públicas y privadas, habida

consideración que ello se tradujo en evidentes beneficios respecto de la seguridad operacional y costo de dichas obras. Consecuentemente, los estudios geológico-geotécnicos se incorporaron gradualmente a la planificación de la mayoría de las obras civiles chilenas. Más aún, las conceptualizaciones iniciales de grandes proyectos hidroeléctricos, viales y mineros, muy particularmente, consignaron a la evaluación geotécnica como alternativa prioritaria, respecto de sus localizaciones, estimaciones de costo y decisión final de inversión.

Hacia comienzos de la década del 60, varios geólogos egresados de la carrera de Geología de la Universidad de Chile, comenzaron a desarrollar actividades en Geotécnica, haciendo de ella una verdadera especialización. Numerosas tesis de grados permitieron abordar y proporcionar efectivas soluciones a variados problemas geotécnicos, referidos tanto a importantes proyectos hidroeléctricos como a obras públicas (Centrales Hidroeléctricas Ralco, El Toro, Colbún-Machicura y Túneles de Chacabuco y Lo Prado).

Gran parte de estos estudios se desarrollaron en el Departamento de Geología Aplicada del Instituto de Investigaciones Geológicas, creado hacia fines de la década del 50, con el respaldo financiero y administrativo de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). La incorporación temporal a esta institución, de una serie de calificados geólogos-geotécnicos pertenecientes al United States Geological Survey, permitieron ampliar el espectro de actividades en el rubro geotécnico mediante el intercambio tecnológico, tanto vía programa de becas en los EE.UU., como mediante la coparticipación en numerosos estudios específicos. Merecen destacarse aquellos referidos a los Suelos de Fundación de las ciudades de Valdivia, Concepción y Valparaíso – Viña del Mar.

Contemporáneamente, en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, el Departamento de Obras civiles asignaba a la geotecnia una creciente importancia. Un grupo de geólogos e ingenieros de este departamento, liderados por el ingeniero Sr. Juan Karzulovic, realizó una serie de estudios geotécnicos, bajo la modalidad de asesoría, para instituciones estatales y privadas, referidas a proyectos hidroeléctricos, mineros, industriales e infraestructura pública y privada.

Desde el comienzo de la década de los 80, comienza una gran demanda por servicios geotécnicos, por lo que junto al trabajo que desarrollan instituciones estatales, universidades y el Servicio Geológico, se incentiva la creación de varias empresas consultoras en el rubro. La mayoría de ellas cuenta con tecnología de punta para el

efectivo tratamiento de la problemática referida a procedimientos de prospección y parametrización de suelos y macizos rocosos, comprometidos en el diseño y construcción de túneles, fundaciones, centrales hidroeléctricas y/o laboreos mineros. Técnicas computacionales referidas al ordenamiento de datos, modelos de simulación y digitalización de la información cartográfica, constituyen aplicaciones de gran eficacia en muchos estudios geotécnicos chilenos. La experiencia alcanzada en estos estudios, especialmente en las áreas de minería y desarrollo energético, han permitido la exitosa “exportación” de tales servicios a otros países latinoamericanos.

La actividad geotécnica chilena a nivel colegiado, dio lugar a la creación, en 1982, de la Sociedad Chilena de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Fundaciones, la cual se transformó, a fines de 1991, en la actual Sociedad Chilena de Geotecnia. Tres congresos chilenos de ingeniería geotécnica y siete de geología, incluyendo algunas charlas de la Sociedad Geológica de Chile, han constituido excelentes foros de expresión e intercambio tecnológico, destinados a divulgar valiosas experiencias de los profesionales involucrados en esta actividad profesional, adquiriendo la geotecnia un importante sitio en el marco de las Geociencias Chilenas.

Rol del Geólogo y Estado Actual de la Geotecnia

La naturaleza y complejidad de los variados problemas geotécnicos surgidos, especialmente en estos últimos 20 años, ha dado como resultado una importante labor desarrollada y por desarrollar, por los geólogos de ingeniería, en estrecha colaboración con los ingenieros geotécnicos (mecánicos de roca y suelos). Ellos tienen una destacada labor en una gran variedad de obras de infraestructura pública y/o privada, como túneles, canales, presas, caminos. Los geólogos de ingeniería participan destacadamente en los nuevos proyectos mineros que se desarrollan en el país. La solución de problemas geotécnicos implicados en el desarrollo de estos proyectos, ayuda notablemente a la viabilidad del mismo.

Como es bien sabido, las restricciones operacionales que suelen suscitarse por problemas geotécnicos, incluyendo las aguas subterráneas, inciden frecuentemente en los costos de producción de una mina, cuya predicción y/o solución a tiempo representa normalmente gastos despreciables comparados con los incrementos de costos y/o atrasos derivados de aquellos.

En efecto, métodos y/o secuencias inconvenientes de explotación o labores mineras diseñadas sin considerar las características geomecánicas de las rocas involucradas,

pueden desembocar en inestabilidades que signifiquen dificultades de acceso temporales o permanentes, entorpeciendo así la producción o incluso impidiendo la recuperación de mineral, ya sea en minas a rajo abierto o subterráneas.

Adicionalmente y siempre en el ámbito minero, obras tales como embalses, tranques de relave, mineroductos, plantas, molinos de chancado, infraestructura vial y abastecimiento de agua para uso industrial, han requerido en estos últimos años el aporte directo de geólogos aplicados a la ingeniería y de ingenieros geotécnicos.

La predicción de la fragmentación y comportamiento geomecánico de las rocas primarias y secundarias en la explotación minera, así como la resistencia de pilares y la caracterización geotécnica de sitios para la lixiviación “in situ”, de botaderos de alta y baja ley, representan el campo de aplicación más reciente de la Geología Aplicada a la Ingeniería en Minería.

Las nuevas centrales hidroeléctricas y embalses para riego, construido o en etapa de construcción (Pehuenche, Canutillar, Curillinque, Pangué, Alfalfal, El Capullo, San Ignacio, Rucúe, Convento Viejo, Santa Juana, Puclaro); el desarrollo de proyectos inmobiliarios en todo el país; la factibilidad geotécnica de los proyectos de gasoductos y centrales hidroeléctricas existentes y la obras viales consideradas bajo el sistema de concesiones, han contribuido a consolidar la importancia de la Geología Aplicada a la Ingeniería, en la actualidad.

En la medida del creciente interés por prestar adecuada atención a los aspectos medio ambientales de numerosos proyectos de ingeniería civil, en el campo de las obras de infraestructura pública y megaproyectos mineros, las componentes geotécnicas e hidrogeológicas han participado decisivamente en los estudios de evaluación de impacto ambiental. Ello ha abierto un atractivo nuevo campo de intervención para geólogos-geotécnicos, habida consideración que se trata de materias directamente vinculadas con el conocimiento, valoración y gestión ambiental. En el futuro inmediato, esta actividad debería cobrar creciente demanda, particularmente en lo que compete a la necesaria evaluación de los llamados riesgos geológicos; procesos de remoción en masa, inundaciones, actividad volcánica y sísmica, etc., como parte integrante de estudios de impacto ambiental vinculados, muy especialmente, al uso del suelo para diverso destino y a la localización de sitios seguros para la adecuada disposición de residuos sólidos o líquidos.

Actualmente trabajan en el área de la Geotecnia una cantidad variable entre 40 y 45 geólogos. De ellos, unos 10 profesionales laboran entre Universidades y SERNAGEOMIN y unos 30 a 35 en Agencias Consultoras privadas.

Perspectivas

El actual desarrollo económico del país y el notable incremento que se avecina para el próximo milenio (especialmente del 2000 al 2015), pronostican un alza considerable en la inversión y desarrollo de obras de infraestructura, centrales hidroeléctricas, proyectos mineros, etc. La totalidad de estos proyectos civiles, mineros u otros, que se conciben y puedan materializarse, consignan la realización de estudios geotécnicos de los más variados alcances, propósitos, metodologías y procedimientos tecnológicos. Lo anterior significaría que para satisfacer esas demandas se necesitaría la participación plena de los actuales y una cuota adicional bastante importante de geólogos de ingeniería.

LA HIDROGEOLOGIA

Presentación

La industrialización del país requiere cantidades crecientes de agua. Esto se hará más imperativo en el desarrollo de los megaproyectos mineros y en la planificación hidroeléctrica de Chile.

En gran medida, los recursos de aguas superficiales, especialmente en la zona central del país, están en gran parte comprometidos y asignados. En el escenario anterior y especialmente, en la zona norte del país, los recursos de aguas subterráneas se hacen insustituibles.

Los estudiosos de las aguas, especialmente de los recursos de aguas subterráneas, han tenido, tienen y tendrán una gran responsabilidad en la exploración y evaluación de los acuíferos. Este será un elemento indispensable para hacer factibles los proyectos industriales presentes y futuros y la infraestructura pública en que se sustentarán aquellos.

Definición e Importancia

La Hidrogeología es una especialidad de la Geología que tiene como objetivo la exploración y evaluación de los recursos de agua, especialmente de las aguas subterráneas.

Las especiales condiciones geográficas, climáticas, geológicas, tectónicas y volcánicas de nuestro territorio hacen que para lograr el objetivo de una evaluación de los recursos de aguas subterráneas y superficiales, se debe emplear todos los conocimientos y experiencia de los profesionales especialistas.

La hidrogeología es especialmente importante en las regiones del norte de Chile, caracterizadas por ambientes con escasez del recurso y cuya utilización corresponde fundamentalmente a explotación de reservorios alojados en las cuencas del desierto de Atacama. Las ciudades y pueblos del norte, así como muchas del centro y parte del sur del país, se abastecen de agua para su población a través de captaciones de agua subterráneas, las que han garantizado un suministro adecuado y continuo frente a sequías prolongadas, permitiendo el desarrollo normal de las actividades de la población.

Arica, Iquique, Antofagasta y las ciudades del interior, Copiapó y Vallenar, dependen del abastecimiento de agua subterránea de buena calidad. La Región Metropolitana, con su numerosa y concentrada población, complementa su demanda con importantes volúmenes de agua subterránea. Un hecho de actualidad ha sido el caso de captaciones profundas para abastecer el sector oriente de Santiago, a raíz de la disminución del flujo superficial ocasionado por la sequía que afectó al territorio.

En la actividad productiva de la minería, el recurso de agua subterránea es particularmente relevante, ya que gran parte de esta actividad se desarrolla en regiones desérticas con escasos cursos de aguas superficiales y de muy reducido caudal.

También la agricultura del valle del río Copiapó se ha desarrollado muy vigorosamente a partir de la explotación de aguas subterráneas, poniéndose bajo riego tecnificado un gran número de hectáreas plantadas con frutales de exportación, que han generado importantes recursos económicos para la región en los últimos años.

Desarrollo Histórico y Evolución

Los comienzos de la Hidrogeología en Chile pueden situarse a mediados de la década de los 40, con el desarrollo de los primeros estudios de importancia efectuados en varias cuencas del norte, por John Taylor, hidrogeólogo del Servicio Geológico de los Estados Unidos. Importante y señero también es el estudio de la cuenca del río Elqui realizado en la década de los 50 por el Bureau of Reclamation de los EE.UU.

También durante esa época se establecieron empresas perforistas dedicadas a la construcción de pozos. Varias de ellas han cambiado de nombre o propietarios, durante una trayectoria que les ha permitido perdurar hasta la actualidad.

El Estado desempeñó un papel muy importante en el desarrollo de la actividad en el pasado, a través de organismos tales como la Dirección de Riego, el antiguo Servicio de Obras Sanitarias y, de manera muy destacada, la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). Esta última organización creó un equipo de trabajo dedicado a la exploración, evaluación y estudio de las aguas subterráneas, formando profesionales especialistas pioneros en Hidrogeología, actualmente activos en la práctica de la especialidad. Profesionales de renombre se han destacado en esta área, como Juan Karzulovic K., recordado además por su dedicación de profesor a la iniciación de geólogos e ingenieros, en este campo.

Desde el comienzo de sus actividades, el desaparecido Instituto de Investigaciones Geológicas (IIG) realizó trabajos de geología en el norte del territorio, destinados a determinar lugares favorables para la prospección de aguas subterráneas. En estos estudios participaron geólogos e ingenieros nacionales, junto con geólogos del Servicio Geológico de los EE.UU., enviados al IIG a través de un programa de transferencia tecnológica y cooperación.

El giro de la economía impuesto a mediados de la década del 70, significó una contracción de la participación del Estado y una expansión de la actividad de consultores privados, que se mantiene en la actualidad.

Rol del Geólogo

El geólogo cumple un papel muy importante en el campo de la *Hidrogeología*. Su principal capacidad se desarrolla en la exploración y evaluación del recurso agua. En esas tareas realizan múltiples investigaciones, estudiando los factores que condicionan la distribución, escurrimiento y almacenamiento de las aguas y que concluye con la determinación de la cantidad, calidad, renovabilidad y disponibilidad de este elemento.

Actualmente se desempeñan en el campo de la hidrogeología, unos 30 profesionales nacionales y unos 5 profesionales extranjeros. De estos 10 geólogos se ubican en organismos del Estado y alrededor de 25 en empresas privadas.

En Chile, los profesionales especialistas en hidrogeología se encuentran organizados en asociaciones gremiales donde destaca la Asociación de Hidrología Subterránea para el Desarrollo (ALHSUD) y la Asociación Internacional de Hidrogeólogos. En ellas se intercambian experiencias y se posibilita el acceso a fuentes de información a nivel internacional.

Perspectivas

Para la Hidrogeología y los hidrogeólogos en particular, se pronostica un importante desarrollo en el futuro. Estimamos que su participación se incrementará y será de gran utilidad en los siguientes campos:

- a) Prospección y Evaluación de Aguas Subterráneas para diferentes usos.
 - Abastecimiento de ciudades y, en general, de su población.

- Recursos de aguas para el desarrollo de proyectos mineros ya descubiertos o que podrían descubrirse en el futuro. En estos proyectos, el elemento agua es uno de los factores más importantes en la factibilidad del mismo.
 - Recursos de agua para nuevas áreas agrícolas e industriales.
- b) En el área de Minas en activos, se precisarán estudios y soluciones hidrogeológicas en materias relacionadas con el drenaje de las minas, hecho que se ha estudiado a través de modelaciones hidrogeológicas de alto nivel tecnológico.
- c) En el tema medio ambiental, se hará indispensable la participación de especialistas en el estudio de potenciales contaminaciones del agua subterránea y de los acuíferos. Por esto, será necesario investigar la influencia de las actividades de la industria minera, aguas servidas de las empresas sanitarias y cualquier otro ambiente donde sea preciso someter proyectos al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, requerido por la normativa vigente.

LA ENERGIA

Presentación

La energía primaria consumida en Chile proviene de cinco fuentes: petróleo, gas natural, carbón, hidroelectricidad y leña. En orden de importancia, en cuanto al porcentaje del consumo nacional de energía, está en primer lugar el petróleo y el gas natural con 48% seguido del carbón con un 18%, la leña con un 15%, el gas natural corriente con un 11% y la hidroelectricidad con un 10%.

Con respecto a la generación de energía, la hidráulica es la principal fuente, con un 60% y la térmica representa un 40%. La entrada del uso de gas natural va a cambiar este cuadro para los próximos 5 años, en los cuales la hidroelectricidad bajará a un 48%, en tanto que la térmica aumentará a un 52%.

La extracción de petróleo en Magallanes, ha declinado en forma alarmante debido al agotamiento de los depósitos. En 1988, la producción de crudo fue de 2.500.000 metros cúbicos, para alcanzar sólo 446.000 en 1999. Es decir, en estos momentos aporta alrededor de un 4% de las necesidades del país.

Sin embargo, para enfrentar esta baja, ENAP, con sus *geólogos* a la vanguardia, ha emprendido un programa de exploraciones en otros lugares de Chile, pero también fundamentalmente, en otros países. Actualmente, desarrolla actividades principalmente en Argentina, Ecuador, Colombia, Venezuela, Guinea, Bisau.

En cuanto al carbón, su producción también ha descendido notablemente. En 1990 su extracción fue de aproximadamente 2.700.000 t y en 1999 sólo alcanzó a 513.769 t. En este caso no se debe al agotamiento de los depósitos, sino a problemas de orden económico.

Por otro lado, se mira con mucho entusiasmo la posibilidad de explorar y desarrollar la Energía Geotérmica. Ésta existe en muchos lugares del país. Es un recurso renovable y no contaminante, que se usa con éxito en otros países. En esta área, los geólogos y geofísicos tienen una gran tarea y responsabilidad que cumplir.

El incremento de los requerimientos energéticos en nuestro país, apunta a una duplicación de la capacidad generadora, entre los años 2000 y 2010. Sin duda que éste es un gran desafío para nuestros geólogos e ingenieros, en la búsqueda de nuevas alternativas de recursos energéticos y, todo esto dentro de un ambiente sustentable.

ENERGIA GEOTERMICA

Definición e Importancia

La Energía Geotérmica es un recurso natural renovable no contaminante, de uso múltiple y que existe en abundancia en el país.

La importancia y el desarrollo de la Energía Geotérmica en el mundo, está estrechamente ligada a las necesidades de generación de electricidad. En muchos países, el potencial geotermoeléctrico instalado ha aumentado sostenidamente y la evolución mundial de la capacidad geotérmica se proyecta de manera creciente (para el año 2000 se proyecta una potencia instalada de 10.197 Mw).

Considerando que Chile es un país que depende del suministro mundial de petróleo y que aún utilizamos este recurso para la generación de electricidad, el uso de la Energía Geotérmica para estos objetivos es, en términos económicos, una alternativa perfectamente viable.

La Energía Geotérmica se puede obtener principalmente, desde las fuentes geotermales naturales. Nuestro país se encuentra en una ubicación privilegiada debido a su contexto geológico y posición geográfica. La totalidad de las áreas con actividad geotermal existentes en Chile, se encuentran en la franja de volcanes localizados en la Cordillera de los Andes. Estas particulares condiciones permiten que Chile disponga de un potencial geotérmico de primer orden mundial.

Desarrollo Histórico y Evolución

Chile fue uno de los primeros países en Latinoamérica, que trató de aprovechar los recursos geotérmicos existentes en su territorio. Un grupo de pioneros, entre los cuales se debe destacar a Hugo Rolandi e Isidoro Spina, se interesó por estudiar las emanaciones de vapor en la región de El Tatio, II Región. En 1917, estos pioneros contrataron al ingeniero Juan Severina y organizaron en dicho año, diversas expediciones a la zona, cuyos estudios dieron origen a la "Comunidad Preliminar de El Tatio". En 1921, esta comunidad contrató los servicios de los ingenieros italianos Ettore Tocchi y R. Corrandini. Demostrada la existencia de vapor y en atención a las posibilidades que abrieron los estudios de la misión Tocchini, los impulsores de este negocio perseveraron en sus propósitos, viajando a Italia en busca de capitales y asesoría técnica. Cuando las

gestiones que realizaban parecían fructificar, sobrevino la crisis mundial de 1931, lo que obligó a postergar el proyecto.

En 1957 se iniciaron gestiones en la Corporación de Fomento de la Producción con el objeto de obtener ayuda económica del Estado para el desarrollo de El Tatio. Estas gestiones culminaron en 1961 cuando se obtuvo el apoyo del Fondo Especial de Naciones Unidas (PNUD) para este proyecto.

Las actividades de desarrollo de El Tatio comenzaron en 1967 y continuaron hasta 1975, fecha en que se terminó el convenio con el PNUD. En ese lapso, un equipo multidisciplinario formado por tres geólogos, un geofísico y dos asesores neozelandeses, realizó la exploración de un área de 1.600 km² (geología, vulcanología, geoquímica y geofísica). Se perforaron trece sondajes. Se concluyó que en este campo geotérmico era posible instalar una central geoelectrica de 15 Mw. Con posterioridad, el Comité geotérmico de El Tatio de la CORFO continuó efectuando mediciones y en 1979 publicó un estudio de factibilidad que consideraba la instalación de una central de 30 Mw y se estimó un potencial máximo inestable de 100 Mw.

Posteriormente y hasta el año 1980 se estudiaron los campos geotérmicos de Puchuldiza (Iquique), con 800 Km² de investigación y la perforación de 5 pozos en un área de 6 km² y Surire (Arica) con 400 Km² de estudio.

Además de los campos geotérmicos nombrados anteriormente se han identificado los siguientes depósitos:

I Región	:	Pampa Lirima, Jurase, Berenguela
II Región	:	Ascotan, Aguas Calientes
VII Región	:	Caldera Calabozo
VIII Región	:	Termas de Chillán, Trapa-Trapa
IX Región	:	Tolhuaco, Río Blanco
X Región	:	Aguas Calientes, Petrohué

Perspectivas

No hay dudas que los esfuerzos realizados hasta el momento en la evaluación de los recursos geotérmicos en el territorio nacional, son extremadamente limitados, comparados con el potencial existente. Chile podría aspirar a un desarrollo de la Energía Geotérmica gravitante en le economía del país. Comparado con países de contexto geológico similar, como Filipinas, nuestro país podría alcanzar un potencial instalado de

1.000 Mw. Para que esto sea posible, se requiere definir el contexto legal para la explotación de este recurso y estimular la inversión e investigación básica a lo largo de la cordillera del país. En la actualidad existe en el Parlamento un Proyecto de legislación sobre la Energía Geotérmica. Por otro lado se cree que es indispensable comenzar una investigación básica que caracterice las fuentes potenciales de energía geotérmica a lo largo del país. Esto, enmarcado en un objetivo central, cual es la planificación de un tipo de desarrollo que considere la utilización de energía no convencional, en sus distintas alternativas.

Actualmente, Chile cuenta con recursos humanos y técnicos potenciales para desarrollar esta industria. Instituciones como el SERNAGEOMIN y las Universidades de Chile, Católica del Norte y Concepción, pueden formar los profesionales necesarios para esta actividad. Por otro lado, la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP) cuenta con la tecnología, la experiencia y los profesionales para llevar a cabo el tipo de perforaciones que se requiere en las etapas de exploración y explotación.

Una caracterización geológica del país, una evaluación de las regiones con mayores posibilidades y/o necesidades para utilizar Energía Geotérmica, ligado a una política de desarrollo energético para el siglo XXI que considere esta fuente de energía, deben ser el eje de esta actividad.

Tanto en las etapas de exploración como explotación de la Energía Geotérmica, es fundamental la participación directa de geocientistas. Estos profesionales, que deben ser geólogos y geofísicos, deben tener una formación científico-técnica, con una fuerte preparación en geoquímica, geofísica, vulcanología, geología regional y técnicas de perforación profunda. El número adecuado para emprender estas labores será función de la dimensión que se le quiera dar a esta investigación, pero consideramos que esta no debe ser menor a un par de decena de profesionales.

ENERGIA NUCLEAR

Comisión Chilena de Energía Nuclear CCHEN

Definición e importancia

Área Energética

Los nuevos escenarios que plantea la creciente demanda energética, especialmente relacionados con proyectos mineros e industriales, las restricciones ambientales, el desarrollo industrial y agroindustrial, el agotamiento previsto de combustibles fósiles y la dependencia de fuentes energéticas del país, hacen cada vez más urgente la utilización de energías limpias, de bajo costo y no dependientes. Esta situación ha llevado últimamente a organismos encargados del tema energético en nuestro país, como también en otros países, a considerar la energía nuclear como una alternativa más en las estimaciones de demanda energética futura. En este escenario es cada vez más urgente disponer de toda la información, conocimiento y experiencia necesaria, en relación con la Energía Nuclear, para asesorar al gobierno en las situaciones que a futuro se planteen.

Nuestro país, tanto por su especial condición geográfica de la zona norte como por su elevado potencial minero, requiere para su desarrollo futuro dos elementos básicos en abundancia y al más bajo precio posible, energía y agua. Actualmente, en numerosos países, la tecnología nuclear es una solución técnica a nivel industrial probada en el abastecimiento de energía y agua.

La evaluación del potencial nacional de materiales de interés nuclear es necesaria para establecer las bases y estrategia que adopte el país en posibles negociaciones con empresas y/o países proveedores de tecnología, servicios e insumos.

Área Minería

Es de interés, integrar el conocimiento de la geología de los materiales radioactivos, a la metalogenia regional contribuyendo a la comprensión de los procesos geológicos que controlan el emplazamiento de metales básicos, preciosos y de alto valor. Con ese objetivo, el conocimiento de la geología de los minerales radioactivos (metalogenia, geoquímica, petroquímica, mineralogía), constituye una herramienta más para el estudio y modelamiento de yacimientos minerales. Las aplicaciones radiométricas, de bajo costo,

permiten interpretar características geoquímicas y petrológicas básicas de las rocas estudiadas.

El Plan Nacional de Desarrollo Nuclear, aprobado en 1996, en el área de Investigación y Desarrollo, considera como objetivo “Realizar y fomentar la investigación y desarrollo de los usos y aplicaciones pacíficas de la Energía Nuclear y tecnologías afines, promoviendo la innovación tecnológica e impulsando la transferencia de estos conocimientos a los sectores productivos del país”. En esta línea, le corresponde a la sección Geología y Minería de CCHEN realizar la investigación de la geología de los materiales de interés nuclear, estimar el potencial nacional de estos materiales y adaptar las tecnologías propias a la prospección de otras materias primas. Para cumplir con el mandato anterior, la CCHEN ha realizado los siguientes trabajos.

Se ha prospectado 150.000 km² (20% del territorio continental), con técnicas radiométricas, geoquímicas y geológicas, detectándose 1200 anomalías radiométricas y 800 anomalías geoquímicas. Se comprobaron 900 anomalías y se investigó 54 sectores de interés. Se definieron 160 ocurrencias de U magmático, 40 de U sedimentario, 6 prospectos de U, 3 prospectos de Th, 3 prospectos de U, Th, Re, un yacimiento de U, protegido con propiedad minera CCHEN (URANIO 1-70) de donde se extrajeron 54 ton. de mineral con 1400 g/t de U. Se definió un yacimiento de fosforitas uraníferas, licitado y actualmente en explotación. Se detectó uranio en 6 yacimientos de cobre tipo exótico y se participó en la evaluación mediante sondajes en dos de ellos. Se realizó un estudio de favorabilidad geológica nacional, donde se priorizó el territorio y se definieron 28.000 km² de primera prioridad; se creó una base computacional de datos geológicos y geoquímicos con 6000 muestras de roca y sus procedimientos de consulta. Los recursos actuales de uranio han sido estimados en 3.000 t. de U y una potencialidad superior a 50.000 t. de U contenidas en recursos especulativos en todo el país.

Desarrollo Histórico y Evolución

En el año 1950 se inicia un programa de exploraciones de los materiales radioactivos en el país, que se prolonga hasta el año 1958. Este programa es realizado por la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), con la colaboración de la Comisión de Energía Atómica de EE.UU. (USAEC). En el año 1958 se continúa con la labor anterior, pero esta vez a través del Instituto de Investigaciones Geológicas (IIG), con la colaboración del USAEC. Este trabajo finaliza el año 1960.

En el año 1964 se crea la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN), la que continúa las tareas iniciadas en el área de exploraciones. Entre los años 1974 y 1981 se

desarrolla el Plan Nacional de Recursos Radioactivos, con la colaboración del organismo internacional de Energía Atómica (OIEA) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Entre los años 1981 y 1986 se colabora con el Programa Regional de Evaluación de Favorabilidad Uranífera (PRE), a nivel latinoamericano. Para este proyecto, CCHEN preparó un informe técnico denominado Carta Pronóstico del Uranio.

En el año 1982 se promulgó el nuevo código de Minería (Ley N°18.248), que establece la libre denunciabilidad del uranio y otros materiales de interés nuclear, esto motiva la reorientación de las actividades de la CCHEN en el área de la investigación geológica y minera. Entre 1986 y 1989, conjuntamente con la readecuación antes indicada, se realizan trabajos de comprobación de anomalías (aeroradiométricas, geoquímicas y geológicas) y, de la favorabilidad uranífera estimada mediante el proyecto Carta Pronóstico.

Desde 1990 en adelante, junto con las tareas propias de CCHEN, se realizan actividades para proyectar y aplicar el conocimiento de la geología del uranio y las técnicas de prospección de materiales de interés nuclear, a la búsqueda de metales de interés económico, especialmente aquellos elementos asociados. Contribuyen a estas tareas la confección de una base de datos geológicos con la información técnica disponible en CCHEN, con la colaboración de SERNAGEOMIN, ENAMI, CMP, SONAMI y las Universidades de Chile y Concepción.

Rol del Geólogo

El Geólogo, dentro de CCHEN, ha desarrollado y desarrolla actualmente, múltiples actividades que van desde la exploración de materiales radioactivos, hasta la asesoría a la Dirección Ejecutiva en temas relacionados con la especialidad.

Los principales temas abordados por los geólogos son los siguientes:

1. Estimar el potencial nacional de materiales radiactivos y mantener cifras actualizadas de los mismos, para las decisiones de políticas energéticas y estratégicas nacionales.
2. Investigar la geología de los materiales de interés nuclear.

3. Insertar la metalogena del uranio y torio, en el conocimiento geológico nacional.
4. Aplicar el conocimiento de la geología de los materiales radiactivos y sus asociaciones, a la búsqueda de minerales de interés económico
5. Participar en geología ambiental e hidrogeología
6. Colaborar con la industria minera y el medio ambiente, mediante la aplicación de las técnicas propias del área nuclear (Cartas radiométricas nacionales, control de radón en minería subterránea y otras)
7. Desarrollar y asesorar en las actividades del Ciclo de Combustible Nuclear (geología de los materiales radiactivos, minería, seguridad minera, metalúrgica, contraparte en estudios de emplazamiento de centrales nucleares y repositorios de desechos nucleares, salud ambiental).
8. Asesorar a la Dirección Ejecutiva en los temas relacionados con la especialidad en materias de orden nacional e internacional.

Con respecto a los profesionales geólogos que han trabajado y actualmente participan en el área, podemos decir lo siguiente:

Entre los años 1974 y 1980 hubo en la CCHEN 20 geólogos con períodos de permanencia de entre 3 y 7 años. Todos recibieron perfeccionamiento en el extranjero en técnicas de prospección y exploración. Actualmente, trabajan en la CCHEN, 3 profesionales geólogos.

Perspectivas

La labor futura de los geólogos dentro de la CCHEN es amplia y diversa, siendo los temas fundamentales los siguientes:

- Realizar la evaluación del potencial nacional de materiales atómicos naturales y de interés nuclear, mediante la investigación geológica de los mismos.
- Insertar la metalogena del U y Th en el conocimiento geológico nacional y aplicarla a

la investigación de otros elementos de interés económico.

- Mejorar el conocimiento de identificación y distribución de las especies minerales radiactivas primarias detectadas, de amplia distribución en las regiones II, III; IV, que delinean y representan el aporte de uranio, torio, titanio, tierras raras livianas, itrio y escandio y otros elementos asociados a la corteza superior, para contribuir al conocimiento geológico y a la comprensión de procesos metalogénicos del país.
- Realizar las cartas radiométricas nacionales, con técnicas aeroradiométricas, como información base y complemento de otras cartas temáticas de uso en exploración minera y medio ambiente.
- Participar en investigaciones de geología isotópica en colaboración con otras instituciones del área y Universidades, mediante las facilidades tecnológicas de la CCHEN.
- Constituir, liderar, promover y participar en grupos de trabajo multidisciplinario para el desarrollo de proyectos de impacto regional. Por ejemplo, alternativas energéticas (Hot Dry Rock), desarrollo integral de una región sobre la base de un proyectos de desalinización nuclear.
- Definir geológicamente para la minería nacional, las áreas de riesgo por radón, el que corresponde a un típico problema de impacto ambiental
- Investigar otras alternativas energéticas no contaminantes: HDR (Hot Dry Rock), en convenio con el Departamento de Energía de USA y la Comisión Nacional de Energía - Chile.

HIDROCARBUROS

EL CARBÓN

Definición e Importancia

Bajo la denominación general de Minería del Carbón, se entiende todas las actividades de exploración y extracción relacionadas con este combustible fósil.

El Carbón abastece un 19% del consumo energético primario de Chile. Este consumo alcanzó en el año 1998 un total de 4 millones de toneladas de mineral, las cuales provinieron en un 20% (aproximadamente 800.00 toneladas) de carbón nacional y en un 80% (aproximadamente 3.2 millones) de mineral importado (especialmente de Colombia, Estados Unidos y Australia).

En Chile existen tres zonas carboníferas: El Golfo de Arauco (Zona Central), Valdivia-Chiloé (Zona Sur) y Magallanes (Zona Austral).

La producción chilena de carbón ha experimentado en los últimos años un cambio drástico negativo, que ha llevado a la producción a niveles muy bajos. En 1997, se cerró definitivamente la mina Lota y la mina Pechet cambió su método de explotación de cielo abierto a subterráneo bajando considerablemente su nivel de producción.

La producción de mineral de cada una de las zonas en los últimos años, se entrega en la tabla siguiente:

PRODUCCIÓN CHILENA DE CARBÓN

(en miles de toneladas)

Zona	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Central	1.470	1342	978	792	481	362	310	300	50	120.000
Sur	130	136	158	179	151	141	160	116	113	175.000
Austral	1.132	1.262	975	821	1.033	981	880	1.162	s/d	500.000
TOTAL	2.732	2.740	2.111	1.792	1.665	1.484	1.350	1.413	---	810.000

La mina Pecket (COCAR), de la región de Magallanes, es en la actualidad la principal productora del país. Sin embargo, su producción es bastante menor que en el pasado. En cuanto a los recursos de mineral, existen cubicaciones y evaluaciones muy diversas,

dependiendo de quien las realizó y qué criterios y variables utilizó (Comisión Nacional de Energía, ENACAR, ILAFA, etc.).

Una aproximación al tema se entrega en la tabla siguiente:

Carbón – Recursos de Mineral

(diversas fuentes)

Zona	Recursos In Situ (millones de t)	Recuperables (millones de t)	Calidad Kg cal/Kg
Central	620	10 – 100	6.000 – 7.000
Sur	2.500	40 – 125	4.400 – 5.000
Austral	5.400	160 – 500	4.100 – 5.000

Desarrollo Histórico y Evolución

El conocimiento de la existencia de Carbón en Chile data de la época de la Conquista, cuando García Hurtado de Mendoza, en 1557 descubre el mineral en la isla Quiriquina, Bahía de Concepción. Un avance importante en el desarrollo histórico tiene relación con el uso del combustible en los buques a vapor que Wheelwright impulsó en el Pacífico en la segunda mitad del siglo 19. Sin embargo, el auge de la Minería del Carbón se produce entre 1870 y 1925, con la notable participación de la familia Cousiño. Posteriormente entre los años 1935 y 1964 y esta vez impulsado por la CORFO, se incrementa notablemente el conocimiento de los yacimientos, la tecnología minera y la producción de Carbón. Así, por ejemplo, el año 1958 Lota llega a producir 1.715.000 toneladas de mineral.

En 1964, comienza una declinación de la industria carbonífera que tiene su culminación con el cierre de Schwager en 1995 y Lota en 1997. Contrariamente a lo anterior, en 1987 se comienza con la explotación de Pecket a rajo abierto (con más de un millón de toneladas de mineral), lo que aminora notablemente la crisis producida por las minas de Arauco. Pero también Pecket baja considerablemente su producción al cambiar su método de explotación subterránea a tajo abierto.

Rol del Geólogo

La participación de los geólogos en la Industria Carbonífera, en cuanto a persistencia en el tiempo y número de profesionales ha sido muy irregular. Sin embargo, en cuanto a calidad de los trabajos, su labor ha sido muy destacada.

En el siglo pasado y en los comienzos del actual, los trabajos fueron muy puntuales y de índole local y, en gran medida, ellos fueron realizados por profesionales extranjeros. En la mitad de la década del 30 se comienzan a realizar estudios detallados e integrales de diferentes depósitos, especialmente de los de la cuenca de Arauco, por distintos profesionales chilenos (Geólogos e Ingenieros de Minas con especialidad en Geología). Ellos realizan valiosos trabajos en los ámbitos de la Estratigrafía, Paleontología y Tectónica. Es necesario destacar aquí los nombres de: Jorge Muñoz Cristi, Héctor Flores, Osvaldo Wenzel, Carlos Ruíz, Ricardo Fenner, Juan Tavera y al eminente sabio alemán Dr. Juan Brügger.

En los años 70, nuevamente se da un pequeño impulso a los estudios geológicos en los depósitos de carbón, cuando ENACAR mantiene un staff de 5 geólogos en las tareas de exploración y producción.

Actualmente trabajan, esporádicamente, en la Minería del Carbón entre 1 y 3 geólogos.

Perspectivas

La Comisión Nacional de Energía pronostica un crecimiento anual del consumo de Carbón, a una tasa promedio de un 7%, llegándose al año 2002 a un total de 5.75 millones de toneladas. Esto, sin duda sería muy valioso para la Minería Chilena del Carbón. Sin embargo, la importación de carbón, en muchos casos, a precios inferiores a los chilenos, atenta notablemente contra el desarrollo de la minería nacional. En este sentido, probablemente Pecket y Mulpún serían los únicos depósitos competitivos.

De acuerdo con el hecho anterior, los geólogos chilenos relacionados con la Minería del Carbón, a futuro podrían tener papeles activos en el reconocimiento y desarrollo de los depósitos nombrados arriba, en trabajos tales como planeamiento geológico, control de calidad de reservas, problemas de geología aplicada (aguas subterráneas, estabilidad de roca, etc.). También podrían participar en la exploración de nuevos depósitos de interés, por ejemplo, Isla Riesco.

EL PETRÓLEO

Definición e importancia

El Petróleo es la principal fuente de energía del planeta. De los recursos de energía utilizados por el hombre, alrededor de un 40% es obtenido del petróleo. Este índice es totalmente válido para nuestro país.

Chile también es productor de Petróleo y en 1999 alcanzó una cifra de 446.000 metros cúbicos de petróleo crudo, con lo que abasteció el consumo de nuestro país en aproximadamente un 4%.

La producción de Petróleo proviene totalmente de la llamada cuenca de Magallanes (XII Región). El descubrimiento del hidrocarburo se produjo en 1945 y la producción del mismo se inició en 1949. Hasta el año 1999 se han extraído aproximadamente 65.8 millones de metros cúbicos de petróleo crudo y 91.5 millones de metros cúbicos de gas natural. Se ha estimado que de la cuenca de Magallanes ya se ha explotado el 90% de sus recursos. Por otro lado, se indica que el valor actualizado de los recursos producidos alcanzan a una cifra de US\$11.500 millones.

La Empresa Nacional del Petróleo, ENAP, es el organismo del Estado encargado de explorar, explotar, refinar y comercializar el petróleo.

La producción de Petróleo y gas natural extraído desde Magallanes en los últimos años, queda expresada en la tabla siguiente:

Producción de Petróleo y Gas Natural

(miles de metros cúbicos)

Producto	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Petróleo	1.282	1.137	1.033	862	825	714	605	533	489	468	445
Gas (*)	4.198	4.198	4.067	4.038	4.196	4.244	3.763	3.632	3.212	3.218	3.000

[(*) El 50% del gas extraído se reinyecta a los pozos]

De esta producción, entre un 45-50% proviene del Estrecho de Magallanes (Plataformas marinas del Proyecto Costa Afuera), un 25 a 28%, de la Isla Grande de Tierra del

Fuego y un 25%, del continente. En cada una de ellas, el yacimiento productor corresponde al denominado “horizonte Springhill” de edad Cretácica.

En diferentes etapas, desde la década del 60, ENAP sola o en asociación con compañías internacionales, ha realizado exploraciones en otras áreas del país (fuera de Magallanes), con resultados negativos. Destacan entre ellas, las investigaciones en el altiplano de Arica e Iquique y en el Salar de Pintados (I Región), Salar de Atacama (II Región), Salar de Pedernales (III Región), en Arauco y Chillán (VIII Región), Temuco (IX Región) y Valdivia (X Región).

Debido a la paulatina declinación de la producción magallánica y los resultados adversos de la exploración en otras áreas del país, en 1990 se creó SIPETROL. Esta filial de ENAP tiene como propósito realizar actividades de exploración y producción de petróleo y gas en el extranjero. Actualmente ejecuta trabajos de exploración y/o compra de reservas en Argentina, Colombia, Venezuela, Ecuador, Norte de Africa y Mar del Norte. La producción de SIPETROL alcanzó en 1996 a 893.000 m³, en 1997 a 977.000 m³, y en 1998 1.138.000 m³

En cuanto al gas natural, su importancia ha ido creciendo de manera sostenida durante los últimos años. Esto, debido a que es un combustible limpio, de fácil manejo y transporte y de un nivel de precios que lo hace competitivo en ciertos mercados. Desde 1950, Chile produce gas natural en la zona de Magallanes, alcanzando dicha producción en 1996 aproximadamente 316 millones de metros cúbicos y en 1999 a 3 millones. Gran parte de esta producción se consume en la misma XII Región. Se estima que los recursos de gas natural en la cuenca magallánica son importantes y equivaldrían en valor energético, a 4 ó 5 veces el valor de todo el petróleo de la cuenca de Magallanes. Por otro lado, existen buenos pronósticos en cuanto a los recursos de gas que existen en la cuenca de Valdivia, cuenca de Concepción, Arauco, cuenca de Puerto Montt (Canal de Chacao) y cuenca de Temuco.

Desarrollo Histórico y Evolución

La inquietud por la búsqueda de Petróleo en Magallanes se inició a comienzos del presente siglo, casi inmediatamente después de encontrarse los primeros indicios superficiales de petróleo en el sector de Agua Fría, a mediados de 1899. Entre 1906 y 1928, diferentes organizaciones tanto gubernamentales como privadas, nacionales y extranjeras, realizaron estudios y trabajos de exploración en la cuenca magallánica sin tener éxito. En 1928 el Gobierno establece que el Estado tiene el derecho exclusivo de

realizar las tareas de exploración petrolífera del país. Entre 1928 y 1942, el gobierno enfrenta estas tareas con la asesoría de especialistas extranjeros, pero con escasos recursos y sin tecnologías avanzadas. En 1939 se crea la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) y ésta con una tremenda labor visionaria, le da un inusitado impulso a la exploración. Aumentan considerablemente los recursos financieros; contrata asesoría extranjera (especialmente norteamericana); tanto en geología como en geofísica, forma y especializa a un grupo de ingenieros chilenos en el tema, e introduce el trabajo sistemático de geofísica (especialmente sísmica).

Este esfuerzo se ve compensado cuando en Diciembre de 1945, en el paraje de Springhill (Tierra del Fuego) surgió el primer chorro de petróleo chileno. En 1949 comienza la producción comercial de Magallanes y en 1950 se crea la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP). En 1971 se traslada la exploración a las aguas del Estrecho de Magallanes y en 1978 comienza la producción del Proyecto Costa Afuera.

Como se dijo antes, ENAP ha producido aproximadamente 66 millones de metros cúbicos de petróleo crudo, con cifras del orden de los 10.000 metros cúbicos los primeros años (1949-1950), aumentando paulatinamente los años siguientes hasta alcanzar la cifra récord de 2.5 millones en 1982 y, a partir de allí, declinando sistemáticamente hasta alcanzar sólo 446.000 metros cúbicos el año 1999.

Rol del Geólogo

Desde muy temprano del desarrollo de las Actividades Petroleras, los geólogos han tenido un papel destacado. En las primeras décadas del siglo fueron geólogos extranjeros los que realizaron estudios y exploración en busca de los hidrocarburos de la cuenca de Magallanes. Entre 1906 y 1920, destacaron los trabajos realizados por los geólogos alemanes Ernest Maier y Johannes Felsch y el italiano Guido Bonarelli. Más tarde, aproximadamente entre los años 28 y 40, son dos comisiones de geólogos y geofísicos alemanes y holandeses los que ejecutan los principales trabajos de exploración. Entre ellos, hay que nombrar, en forma remarcada al geólogo Augusto Hemmer. En la década del 40, comisiones de geólogos, ingenieros de minas y geofísicos chileno-norteamericanos producen intensos trabajos de exploración y concluyen en la importancia del horizonte Springhill y en el descubrimiento del petróleo. Desde esa época, una cincuentena de geólogos e ingenieros geólogos han trabajado en la exploración y producción de Petróleo. Desde la década del 60, han sido profesionales formados en las Universidades chilenas los que han dirigido la exploración en la cuenca magallánica, la exploración en otras áreas del país y han tenido un papel principal en los

convenios y trabajos que realiza SIPETROL en el extranjero. En la actualidad entre ENAP y SIPETROL hay 34 geólogos en actividad, de ellos 11 son extranjeros.

Perspectivas

Se ha informado que se ha extraído prácticamente el 90% del petróleo de la Cuenca de Magallanes. Por otro lado, hasta ahora las exploraciones en el resto del país han tenido resultados negativos y muchos geocientistas opinan que en nuestro territorio no existiría más Petróleo. Sin embargo, el tema no está agotado y aún existen negociaciones para la exploración de áreas de interés con empresas y capitales extranjeros. Por otro lado, el interés por el gas natural ha ido creciendo de manera sostenida durante los últimos años, más aún al saberse que este gas podrá ser usado en las centrales termoeléctricas. En el pasado se han detectado áreas y cuencas muy atrayentes, las cuales podrían tener importantes recursos de gas. Por otro lado, en un futuro inmediato es claro que gran parte del petróleo que el país necesite habrá que buscarlo fuera de Chile y en esta perspectiva el rol de SIPETROL es fundamental.

Según lo anterior, aunque en primera instancia pareciera que el panorama de la exploración en hidrocarburos en Chile es desalentador, existirían aún algunas expectativas y áreas de investigación en Petróleo y, especialmente, en gas natural.

Es entonces un desafío tanto para geólogos como geofísicos, realizar los estudios conducentes a obtener una certera evaluación de dichos recursos.

LOS SERVICIOS

PRESENTACIÓN

El conocimiento geológico básico de nuestro territorio es la base o infraestructura sobre la cual descansan todas las demás disciplinas geológicas aplicadas, que bregan por evaluar o controlar los fenómenos geológicos y/o los recursos naturales.

El Estado, mediante su organismo, el Servicio Nacional de Geología y Minería, tiene como objetivo prioritario la confección de la Carta Geológica de Chile y las Cartas Temáticas que la complementan. Este trabajo, fundamental para el desarrollo posterior de la exploración minera, búsqueda y evaluación de los recursos hidrogeológicos, asentamiento de obras civiles, etc., solamente lo ejecuta el Servicio. De ahí, su gran importancia.

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

SERNAGEOMÍN

Definición e Importancia

El Servicio Nacional de Geología y Minería fue fundado en 1980, a partir del Instituto de Investigaciones Geológicas y el Servicio de Minas del Estado. Su función es asesorar al Ministerio de Minería en materias geológicas y mineras, elaborar las cartas geológicas y temáticas del país, llevar las estadísticas de la actividad minera, reglamentar y controlar el uso de explosivos, reglamentar y controlar la seguridad del trabajador minero, supervisar y controlar la propiedad minera del país. Nos referiremos en este trabajo, sólo a la parte concerniente a las Investigaciones Geológicas.

La Subdirección de Geología tiene como propósitos principales los siguientes:

- Generar el conocimiento geológico básico del territorio nacional y de los procesos que han condicionado su formación.
- Investigar y evaluar los recursos minerales, energéticos y de aguas subterráneas.
- Identificar e investigar los riesgos geológicos y contribuir a determinar y mitigar sus efectos sobre la población y el ambiente.
- Investigar las características geológicas del fondo marino de la Zona Económica Exclusiva del país y sus posibles recursos mineros.
- Recopilar los datos geológicos y mineros disponibles y mantener actualizado un Archivo Nacional Geológico y Minero.

Dentro de este marco general el Servicio desarrolla los estudios y difunde la información técnica – geológica producida mediante publicaciones como Cartas Geológicas, Metalogénicas, Geofísicas, Hidrogeológicas, Geoambientales, Boletines, Misceláneas, etc.

Los principales trabajos realizados y en ejecución, son los siguientes:

Geología Básica (Enfasis en Geología Regional)

Investiga la distribución horizontal y vertical de los diversos tipos de roca que constituyen el territorio. La génesis y disposición estructural de las mismas. El país, actualmente cuenta con un Mapa Geológico de Chile, a escala 1:1.000.000 y próximamente saldrá la publicación de un nuevo Mapa actualizado y conceptualmente renovado. Además, se han confeccionado 35 cartas geológicas a escala 1:250.000, que cubren aproximadamente un 60% del territorio y numerosos mapas geológicos de áreas escogidas, a escalas 1:50.000 y 1:100.000, que junto con las anteriores completan un total de 100 cartas geológicas.

Junto a estos trabajos básicos se desarrollan numerosas investigaciones especializadas en las áreas de estratigrafía, estructural, volcanología, paleontología, geoquímica y petrografía.

Geología Aplicada

En esta área el Servicio realiza investigaciones en el campo de la Geotécnica, Hidrogeología y Geología Ambiental, incluyendo los Riesgos Geológicos.

En el área de Hidrogeología se realizan estudios tendientes a conocer y evaluar los recursos hídricos subterráneos del país. La información se compila en la Carta Hidrogeológica de Chile a escalas variables entre 1:100.000 y 1:250.000. Ultimamente se han publicado trabajos sobre un segmento del Valle de Copiapó, la Cuenca del Salar de Maricunga y sobre aguas termales de la cordillera andina del centro-sur de Chile.

En el área de Geología Ambiental se estudian los factores que condicionan el desarrollo de fenómenos naturales violentos, que se traducen en riesgos volcánicos, sísmicos y remociones en masa. En esta área se obtuvo un significativo avance con el primer mapa geoambiental desarrollado en la zona de Puerto Montt – Puerto Varas.

En materia de riesgos volcánicos se realizan programas de monitoreo volcánico respecto de aquellas estructuras de mayor peligrosidad. También se han

estudiado los problemas de causa, efecto y medidas de mitigación con respecto al fenómeno del Niño. Se han realizado varios trabajos sobre ordenamiento territorial destacando al respecto aquel realizado sobre la Cuenca de Santiago.

Geología Económica

Su labor principal consiste en realizar investigación básica sobre la ocurrencia, distribución y génesis de los recursos minerales metálicos y no metálicos del país. Estos estudios metalogénicos muestran la relación existente entre la distribución de los depósitos minerales y la conformación geológica y se sintetizan en cartas metalogénicas a diferentes escalas.

En el pasado se realizaron numerosos estudios geológico-económicos sobre distritos mineros específicos y se concluyó con la carta metalogénica de Chile, escala 1 : 1.000.000.-

En los últimos años en el área de minerales metálicos destacan los trabajos sobre la Carta Metalogénica de la III Región (18 hojas) cuyo trabajo de campo se encuentra concluido; Estudio Geológico Económico de la X Región y el Mapa de Recursos Minerales del Area fronteriza Argentina – Chilena entre los 34° y 50° S.

En el área de los no metálicos se confeccionó el Mapa de Minerales No Metálicos de Chile y el Estudio Técnico Económico de Minerales No Metálicos entre las Regiones I y XII. Se está concluyendo el Levantamiento de Cartas Regionales de Recursos No Metálicos de las regiones I, II, III y IV.

Geofísica

En Geofísica se realizan estudios regionales complementarios al Programa de Carta Geológica de Chile y demás cartas que la integran.

En Servicio está elaborando la Carta Magnética de Chile que tiene como objetivo la generación de la información básica sobre el campo magnético terrestre del territorio nacional, representado en mapas a escala regional (generalmente 1 : 100.000). Últimamente se han concluido las cartas Valdivia – Pucón, Osorno, Puerto Montt y Castro. También se está realizando la Carta Gravimétrica de Chile cuyo propósito es generar información gravimétrica básica y de las cuales han editado las hojas Santiago Norte, Puerto Montt y Copiapó (todas a escalas 1 : 500.000).

El servicio además realiza algunos estudios geofísicos de detalle como apoyo a otras

disciplinas, especialmente proyectos de Hidrogeología y Geología Regional. Entre estos trabajos destacan los estudios específicos realizados en la Cuenca del Salar de Maricunga, Cuenca de Cienaga Redonda, Cuenca de Mejillones y áreas del Altiplano de la II Región.

Laboratorios

En el SERNAGEOMIN existen una serie de Laboratorios especializados que tienen como objetivos principales el apoyar los proyectos geológicos con la información analítica de los materiales obtenidos en terreno. Estos Laboratorios también efectúan estudios científicos sobre temas geológicos, paleontológicos, geoquímicos e isotópicos que signifiquen un aporte al conocimiento de las Ciencias Geológicas del país. Estas unidades son las siguientes: Laboratorio Químico, Laboratorio de Separación de Minerales, Laboratorio de Geocronología, Laboratorio de Mineralogía y Petrografía, Laboratorio de Rayos X.

El Servicio Geológico cuenta con varias Unidades Especializadas entre las cuales las más importantes son: la Oficina Técnica Puerto Varas y el Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur (Cerro Ñielol, Temuco).

Desarrollo Histórico y Evolución

El predecesor del Sernageomín, en materias geológicas, fue el Instituto de Investigaciones Geológicas, creado en 1957 por la Corporación de Fomento de la Producción y el entonces Departamento del Cobre. El Instituto fue estructurado para cumplir con las funciones de un Servicio Geológico Nacional. En más de dos décadas de trabajo, realizó una prolija labor en la investigación de la Geología Básica del país que lo llevó, ya en 1960, a publicar el primer Mapa Geológico de Chile, a escala 1:1.000.000. Una segunda versión revisada, fue puesta a disposición de la comunidad geológico-minera, el año 1968.

Junto con los trabajos de cartografía básica, realizó una innegable labor en el campo de la Metalogénesis, publicando el primer Mapa Metalogénico del país el año 1964.

La capacidad de investigación también se vio reflejada en los numerosos trabajos de Hidrogeología, Geotecnia (suelos de fundación), Geocronología, Geoquímica, Paleontología, Estratigrafía y Geofísica.

En el año 1980, y acorde con la nueva visión política y económica del país, se crea el Servicio Nacional de Geología y Minería – SERNAGEOMIN. Este se produce por la fusión

del Instituto de Investigaciones Geológicas y el Servicio de Minas del Estado y pasa a depender del Ministerio de Minería.

Este nuevo organismo se plantea con cambios tanto en sus objetivos, programas, organización como también en el volumen de profesionales (disminuye el número de geólogos). Sus propósitos principales se enmarcan en la confección de la carta geológica básica y las cartas temáticas inherentes a la primera. La exploración geológica por minerales, la asesoría en Geología Aplicada, especialmente en obras civiles a las empresas del Estado no se contemplan en los nuevos planes. Sin embargo con el correr del tiempo y, debido especialmente a la favorable trayectoria de la actividad económica del país, ha habido una adición creciente y una diversificación de las actividades del Servicio. La necesidad de información geológica básica en la acelerada exploración por minerales, que se produjo en el país en las décadas del 80 y 90 ha hecho que la labor de Geología Regional sea imprescindible en la planificación minera – económica de país. La Geología Aplicada ha entrado de lleno a dar respuestas a las crecientes demandas en los temas de hidrogeología, Riesgos Geológicos y Geología Ambiental (incluyendo Ordenamiento Territorial).

Rol del Geólogo

El SERNAGEOMIN es una institución netamente dedicada a las Ciencias Geológicas, y en consecuencia el geólogo es el actor principal en dicha Institución. El Servicio actualmente cuenta con 62 profesionales geólogos y 5 profesionales geofísicos. Del total de 62 geólogos, 22 corresponden a profesionales de Planta (36%), 8 están a Contrato (contrato por un año, 12%) y 32 son profesionales a Honorarios (52%). Muchos de estos profesionales son de muy buen nivel, varios de ellos cuentan con estudios de postgrado y especialización en el extranjero.

La actividad geológica al interior del Servicio se desarrolla principalmente en los departamentos de: Geología Aplicada (Hidrogeología, Geotecnia, Riesgo Volcánico), Geología Económica (Yacimientos Metálicos y No Metálicos) y Geología Regional (Carta Geológica de Chile).

Los geólogos al interior de esta institución, desempeñan funciones eminentemente de investigación aplicada, generando tanto productos de divulgación pública (mapas, boletines, revistas), como entregando respuestas técnicas calificadas principalmente para otras instituciones de Estado (Municipalidades, Ministerios, etc.). Para esta labor, es

necesario relacionarse con otros profesionales vinculados al espacio físico estudiado como ser: geofísicos, ingenieros de minas, biólogos, químicos, etc.

Perspectivas

En un país como Chile, que en los últimos 20 años ha tenido un desarrollo económico creciente y con fuertes inversiones en la explotación de sus recursos naturales y en infraestructura, se hace imperativo contar con un vigoroso Servicio Geológico Nacional.

El objetivo rector de este Servicio, debe ser la confección de la Carta Geológica de Chile. Dentro de este objetivo, lo prioritario son las actividades en el campo de la Geología Básica. Ella se considera como la infraestructura sobre la cual se deben planificar todos los demás programas que debiera hacer el Servicio: Metalogenia, Hidrogeología, Geotecnia, Riesgos Naturales, Geología Ambiental, etc.

Nuevas inversiones en exploración minera, demandarán información geológica básica indispensable. Por otro lado, las necesidades de agua para los futuros proyectos mineros, de infraestructura y de desarrollo industrial y poblacional, requerirán investigaciones hidrogeológicas básicas, fundamentales para su concreción. Sin embargo en el futuro, y no de muy largo plazo, el Servicio tendrá que adecuarse prioritariamente a la Realidad en que transcurre el país. Sin duda que el objetivo rector de este organismo seguirá siendo la Carta Geológica Básica, pero tendrá que mostrar cada vez más una tendencia creciente por desarrollar trabajos prácticos con mayor vínculo social y fuertemente aplicados. La acción del Servicio tendrá que incluir de manera importante trabajos en las áreas de riesgos geológicos, estudios de los recursos marinos, geotecnia, planificación territorial, geología ambiental, etc., conocimiento fundamental para la toma de decisiones, en cuanto al manejo del territorio de un país, dentro de un contexto de promoción de políticas de desarrollo sustentable.

DOCENCIA E INVESTIGACION

LAS UNIVERSIDADES

Presentación

La modernización de la industria y las innovaciones científicas y tecnológicas necesitan constantemente de nuevos profesionales e investigadores. El desarrollo económico por el que atraviesas el país, requiere que se tenga una consideración prioritaria en la formación idónea de los recursos humanos que están interviniendo e intervendrán en la consolidación del referido desarrollo. En esta formación debe haber una preocupación constante por la calidad y la modernidad de la enseñanza de las ciencias en todos los niveles del sistema educacional. Por otro lado es claro que en el país deben desarrollarse políticas estables de investigación en áreas emergentes e interdisciplinarias. En la misión de docencia e investigación cumplen un papel destacadísimo las Universidades.

La Naturaleza nos ha dotado de recursos básicos de inigualable valor. El saber aprovechar en forma óptima esos recursos, es un desafío y un compromiso. En este desafío y compromiso, juegan un papel preponderante las instituciones dedicadas a la entrega del saber.

LAS UNIVERSIDADES

Definición e Importancia

Las Ciencias Geológicas tienen una directa relación con el descubrimiento, aprovechamiento y conservación de los recursos naturales, especialmente mineros e hídricos. Según lo anterior, la formación y preparación adecuada de los profesionales geólogos es un requisito ineludible.

La Geología es una ciencia que se dedica a estudiar principalmente, la porción más externa del planeta y, como tal, tiene la necesidad de incorporar conocimientos de las ciencias básicas (Matemáticas, Física, Química, Biología), al mismo tiempo, a relacionarse con otras disciplinas afines (Geofísica, Geografía, Ingeniería de Minas, Metalurgia y otras). Esto significa que la formación de los geólogos debe y tiene que incorporar todas las herramientas básicas que permitan, en etapas posteriores, adquirir

nuevos conocimientos y destrezas, en una diversidad de medios altamente competitivos.

Los geólogos son profesionales, especialmente en Chile, con una geología y geografía tan singulares, que aplican sus conocimientos y destrezas a una variedad de aspectos. Se dedican a la búsqueda, evaluación y aprovechamiento de los recursos minerales.; juegan un papel importante en la exploración y explotación de los recursos hídricos, especialmente las aguas subterráneas; identifican y evalúan los riesgos naturales (volcanes, aluviones, etc.); caracterizan los macizos rocosos y suelos, con fines de obras civiles y, últimamente, han entrado a participar en la evaluación de situaciones de impacto ambiental.

Según lo anterior, las Universidades deben tener la capacidad y modernidad para diseñar y planificar políticas culturales acordes con las necesidades y requerimientos del desarrollo de las ciencias, la tecnología y en pos, sobre todo, del progreso del país. Desde otra perspectiva, estas estrategias universitarias deben también abocarse a líneas de investigación. La investigación es una componente intrínseca de las Universidades. Sin embargo, en la planificación de estas actividades deben definirse líneas de trabajo en investigación básica y aplicada, que sean coherentes con el progreso de las ciencias y el desarrollo del país.

Desarrollo Histórico y Evolución

En Chile, el cultivo de las Ciencias Geológicas se identifica con la actividad de investigación y docencia desarrollada por don Ignacio Domeyko, especialmente entre los años 1840 y 1879. En 1917 se incorpora a la Universidad de Chile, el geólogo alemán don Juan Brügger, quien fue maestro de muchas generaciones de ingenieros de minas, algunos de los cuales hicieron de la geología su principal o única actividad académica o profesional. Entre ellos, destacan don Jorge Muñoz Cristi, quien en 1944 crea al Instituto de Geología de la Universidad de Chile y don Héctor Flores Williams. Éste último, junto a don Humberto Fuenzalida Villegas, inician un “Curso Especial de Geólogos”, que empieza a funcionar en 1952, año en que ingresan los primeros 3 alumnos. En 1954 se inicia la carrera de Geología y en el año 1957 se crea la primera Escuela de Geología del país, la que se establece como parte de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

En 1968 comienzan las actividades geológicas en la Universidad Católica del Norte que, en 1971 dan origen al Departamento de Geología. En 1982 se crea la carrera de Geología en la Universidad de Concepción.

Hasta el momento ha egresado de las universidades chilenas, un total de 934 profesionales, de los cuales 662 (67,6%) han obtenido su titulación.

Una síntesis sobre cada una de las universidades que participan, ya sea en la formación de profesionales geólogos, o que imparten docencia sobre temas relacionados, es la siguiente:

a. Universidades que forman Geólogos y desarrollan Investigación en Geología

Universidad de Chile

La Carrera de Geología en esta Universidad se inició en 1952, sobre la base del Instituto Pedagógico y la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, con el primer grupo de egresados en 1957. En 1958 se creó la Escuela de Geología, que se establece como parte de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

En 1967 se lleva a cabo la fusión de la Escuela y el Instituto de Geología, constituyéndose así el Departamento de Geología. En el año 1981, la Facultad experimenta una modificación de su estructura y el Departamento de Geología es fusionado con el de Geofísica, para dar lugar al actual Departamento de Geología y Geofísica.

Inicialmente, el plan de estudios conducentes al título de geólogo, estuvo concebido para formar un profesional que tuviese adecuados conocimientos en Geología General y también, una cierta especialización que le permitiera desarrollar labores intermedias entre la ciencia pura y la ingeniería.

Los objetivos actuales respecto de la formación del geólogo, no son muy diferentes a los que se tuvo al momento de crear la carrera. Sin embargo, las condiciones del país y el gran avance que en estos años ha tenido la geología en el mundo, hace que se hayan producido algunos cambios en cuanto a los conocimientos y, especialmente, a la formación que se le entrega a los alumnos. Además se le ha dado un gran énfasis a la investigación y a la extensión.

Actualmente, la carrera conduce a la otorgación del título profesional de Geólogo. Además existen los grados académicos de Licenciado, Magister y Doctor en Ciencias, con mención en Geología.

Entre 1960 y 1999, han egresado 534 profesionales, de ellos 497 tienen el título de Geólogos. En el Departamento existen 15 académicos de jornada completa, 14 de jornada parcial y 2 profesores invitados.

La investigación ha sido cuantiosa y se estima que, en cifras gruesas, supera el par de millares de publicaciones. En la temática de estas investigaciones se mantiene una fuerte tendencia hacia la Petrogénesis y la Tectónica, debido fundamentalmente a la calidad y cantidad de académicos relacionados con esas áreas. Se ha notado un fuerte impulso en el área de la Metalogénesis y se ha ido fortaleciendo el área de Geología Ambiental. Finalmente, se desea retomar el alto nivel que se tenía en investigaciones sobre temas de Geología Regional.

En el período 1990 – 1999, se han desarrollado aproximadamente 500 trabajos, los cuales corresponden a resúmenes. Trabajos presentados a diferentes congresos y artículos de revistas nacionales y extranjeras. El nivel de estas contribuciones han sido calificadas en forma muy satisfactoria en el medio geológico, donde algunos investigadores del Departamento gozan de un reconocimiento a nivel internacional.

Universidad del Norte

El Departamento de Geociencias, de la Universidad del Norte, fue creado en Marzo de 1967, con el nombre de Escuela de Geología Minera, en respuesta a las crecientes necesidades de profesionales especializados en el área geológico-minera, que se detectaba en el ambiente.

La creación de la Carrera de Geología propiamente tal, se sitúa en 1971. Los objetivos iniciales fueron servir, de preferencia en el área minera de la zona norte. Con el correr del tiempo, estos objetivos se han ampliado a todos los campos que un geólogo puede desempeñar. Sin embargo, por tradición, los egresados han optado por la Geología Minera por excelencia, entendiendo por esto su opción a labores de exploración y producción en la industria.

Desde 1973 hasta 1999 han egresado de la carrera, 285 profesionales, de los cuales 126 se han titulado. Actualmente, el Departamento cuenta con 16 geólogos-docentes en jornada completa y 7 en jornada parcial.

El Departamento de Geociencias de la Universidad del Norte imparte docencia para la

obtención del título profesional de Geólogo. Desde 1996 este mismo Departamento está desarrollando el Programa de Magister en Geología Económica, mención Exploración.

Las investigaciones realizadas por los docentes e investigadores, ha sido variada. Sin embargo, se ha notado una clara tendencia hacia la Geología Económica (incluyendo Geoquímica) y Geología Regional. En Geología Económica se perfilan publicaciones relacionadas con la génesis de los depósitos de hierro y otros vinculados con los minerales industriales, abarcando investigaciones afluentes a su formación, como también netamente aplicadas. En tanto, respecto de la Geología Regional se establece un énfasis en el estudio de las unidades paleozoicas, en sentido lato y en el estudio cinemático y termométrico de zonas de cizalle dúctil de edad jurásica. En los últimos años se han comenzado a desarrollar estudios neotectónicos en diferentes partes del norte de Chile. Estos estudios están orientados a evaluar la interacción entre Morfología y Tectónica. Respecto de nuevas líneas de investigación, se ha comenzado a trabajar en el Tema de Geología Ambiental, abarcando Riesgos Geológicos y en particular, Riesgo Sísmico y de Tsunami. En tanto, que el tema de Sismología con la operación de la Red Sismológica Antofagasta, en convenio con Geofísica de la Universidad de Chile se está desarrollando paulatinamente.

Entre 1974 y 1999, como producto de las actividades de investigación se han realizado 356 publicaciones de la especialidad

Universidad de Concepción

La historia de la Geología en la Universidad de Concepción, se remonta al año 1972, cuando se crea el Departamento de Geología y Paleontología, dependiente de la Facultad de Ciencias Biológicas y Recursos Naturales. En 1980 se transforma en el Departamento de Geociencias y en 1982 se crea la carrera de Geología, dependiente del referido Departamento. En 1984, se transforma en Departamento de Ciencias de la Tierra, en 1989 se reestructura y en 1994 se crea el Instituto de Geología Económica Aplicada GEA.

El actual Departamento de Ciencias de la Tierra es dependiente de la Facultad de Ciencias Químicas.

En estos momentos, la carrera de Geología tiene aproximadamente 200 alumnos. Han egresado de ella, 115 estudiantes y se han titulado 39. El plantel de académicos alcanza a 15 docentes de jornada completa y 15 docentes "part-time", del Instituto GEA. Como

resultado de la política interna de reforzar la investigación y los requerimientos del mundo laboral y los problemas sociales la enseñanza se ha centrado, con mayor énfasis, en la Geología Regional y Estratigrafía, Geología Económica, Geofísica, Recursos Volcánicos, Geología Ambiental y Geología Submarina. Para llevar a cabo esta acción se ha logrado incrementar el intercambio de docentes e investigaciones con universidades francesas y alemanas, junto con iniciar una serie de Proyectos de Investigación en esas mismas áreas.

Las líneas de investigación de los docentes e investigadores, son muy variadas.

En Geología Regional se está realizando un mapeo escala 1:50.000 de los cuadrángulos que conforman la Hoja Concepción. Además se han aprobado por parte de la DFG y de la GTZ cinco Proyectos para el estudio de Geotectónica, Estratigrafía, Paleontología y Análisis de Cuencas, en la zona de Concepción-Arauco, en los que participan el Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción y los Institutos de Geología y Paleontología de las Universidades de Hamburgo, Münster y Karlsruhe, de Alemania.

En Geología Económica se está finalizando un Proyecto FNDR para la Intendencia Regional de la VIII Región, sobre el Mapa Geológico-Metalogénico de la VIII Región del Bio-Bio. Además se mantienen los estudios de Inclusiones Fluídas para diversas empresas mineras, tanto de Minería Metálica como No Metálica, tales como SOMICH, SOQUIMICH, CODELCO, Barrick y Minera Zaldívar.

En Geofísica y Sismología se están efectuando los siguientes proyectos:

- Estudio de la actividad sismo-volcánica del Volcán Villarrica, en el cual se pretende determinar la fuente de la actividad sismo-volcánica, en particular la profundidad de la posible cámara magmática y, si es posible, la geometría.
- Colaboración con el Proyecto SFB 267, en relación a las propiedades de la corteza y manto superior de la zona comprendida entre la VIII y IX regiones de Chile .
- Instalación de un Observatorio Geodésico fundamental, de origen alemán (TIGO), en el recinto de la Universidad de Concepción. Esto abrirá las puertas para realizar investigación geodésica a primer nivel.
- Colaboración con investigadores japoneses e ingleses para estudiar la atenuación de

la corteza en la zona de la Península de Taitao y su relación a la subducción de placas muy jóvenes.

- Preparación de un Proyecto para Estudios Geofísicos relacionados con los volcanes de la zona, en colaboración con GFZ, la Universidad Libre de Berlín y la Universidad de Potsdam.

Riesgos Volcánicos y Geología Ambiental el Departamento se ha integrado a la Red Iberoamericana sobre Vulnerabilidad de Acuíferos junto con 12 países más, conformando uno de los 38 grupos de investigación. Se terminó un Proyecto para ENDESA sobre los riesgos de erupciones en la alta cordillera de la VIII Región y se están realizando los estudios sobre los “Efectos geoambientales del uso forestal, agrícola e hidroeléctrico en la Cuenca del Río Laja y propuesta de un modelo sustentable” (Proyecto FONDECYT N°1000526). En esta misma línea se participa en un Proyecto PNUD con el Centro Eula “Análisis de vulnerabilidad y adaptación en zonas costeras y recursos pesqueros” y un Proyecto de la Comunidad Europea (Proyecto Investigación Beta).

Por último se ha dado asesoría a Municipalidades de la V y de la VIII regiones por el problema que ellas poseen con la ubicación de los Vertederos.

En Geología Submarina se continúa con las investigaciones en la zona costera de la VIII Región y en el extremo sur de nuestro país.

b. Universidades con actividades docentes o de Investigación relacionados a la Geología

Universidad de Santiago de Chile

En esta Universidad, dentro de la Facultad de Ingeniería, en el Departamento de Ingeniería de Minas, existe la llamada Área de Geología.

El Área de Geología la componen 4 geólogos. Esta área tiene como objetivo realizar docencia para el Departamento de Ingeniería de Minas, en las asignaturas de: Geología Física y Estructural, Mineralogía y Petrografía y Geología Económica y de Minas. Además, se realiza docencia para los departamentos de Ingeniería en Obras Civiles, con

orientación a la Geotecnia: Ingeniería Metalúrgica, con énfasis en minerales y para la Ingeniería Geográfica, orientada a la Geomorfología.

En cuanto a investigación, los profesionales han participado en investigaciones tendientes a establecer modelos geológicos de yacimientos magmáticos o filomagmáticos de hierro y de cobre. Han mantenido una constante actividad de investigación en yacimientos de magnetita-apatita durante estos últimos veinte años, lo que ha originado unas cincuenta publicaciones, tanto en el extranjero como en el país. Otro tema de investigación han sido los depósitos volcanogénicos de cobre en la zona central de Chile, con una decena de publicaciones en el país. Actualmente están preparando un grupo de estudios Geomecánicos y otro de Minería y Ambiente. El Area Geología aportaría la base de geología estructural para el primero y la geoquímica para el segundo.

Universidad de La Serena

En esta Universidad y dentro del Departamento de Minas existe un Área de Geología. En ella participan 2 Geólogos, 1 Ingeniero Civil en Minas y una Ingeniero de Ejecución en Minas en calidad de paradocente.

El Área de Geología tiene a su cargo el Museo Mineralógico Ignacio Domeyko, que guarda la valiosa colección de dicho mineralogista. Dicta la docencia para las carreras de Ingeniería Civil y de Ejecución de Minas, Ingeniería en Obras Civiles, Ingeniería Agronómica e Ingeniería Civil Ambiental. También participa en la dictación del Diplomado en Gestión Ambiental Minera y del Magister en Ingeniería de Recursos Minerales, así como de dos maestrías (en Ingeniería de Minas y en Tecnologías Ambientales) en la Universidad Nacional de San Juan, Argentina

En materia de investigación, el grupo produce unas 5 publicaciones anuales, sobre temas de metalogénesis, mineralogía, geoquímica, gestión ambiental e historia minera. Algunos años atrás desarrolló un proyecto PNUD (sobre depósitos tipo skarn en la Región de Coquimbo), dos proyectos Fondecyt (geología y mineralogía distrital), varios proyectos DIULS y un proyecto Fondef (Geología estructural y geomecánica del distrito Los Mantos de Punitaqui, junto al Área de Minería). Actualmente colaboran en dos estudios geoquímicos – ambientales con la Academia de Minas de Cracovia, Polonia y la Universidad de Castilla – La Mancha, España. Por otra parte, el Area de Geología realiza distintos tipos de servicios para empresas, tanto en materia de estudios petrográficos y mineralógicos como de geología aplicada (hidrogeología) y de geoquímica ambiental.

También dicta cursos de capacitación para empresas en materia de su competencia.

En materia de “proyecto docente”, el Área procura entregar a los futuros ingenieros una docencia de buen nivel conceptual, que facilite su futura interacción con los geólogos, a través de una adecuada comprensión de sus métodos y razonamientos.

Universidad de Atacama

La Universidad de Atacama cuenta con una dotación de 4 geólogos. 3 de ellos, trabajan en el Departamento de Minas y 1 asociado al IDITEC (Instituto de Investigación Científica y Tecnológica). Los geólogos del Departamento de Minas imparten docencia en las carreras de Ingeniería Civil en Minas, Ingeniería de Ejecución en Minas y Técnico Preparador en Geología. Además, dictan algunos cursos de capacitación minera.

Los profesionales geólogos de la Universidad de Atacama, han realizado y realizan algunas investigaciones científicas de su especialidad: Calibración de la platina “Fluid Inc” y determinación de las temperaturas genéticas de diques y sus alteraciones para la información termométrica de inclusiones fluidas; Formación de

las vetas y diques en el sector Quebrada Chañaral Alto; Proyectos con IDITEC sobre Medio Ambiente, Desarrollo Tectónico de la Quebrada de Camizalillo y Edades Absolutas de rocas metamórficas de North Victoria Land, Antártica.

Perspectivas

La investigación de las Ciencias de la Tierra, es un proceso dinámico y mutante y, en consecuencia, es permanente en el tiempo. Sin embargo, hay ciertos aspectos de la geología aplicada que tienen una estrecha relación con el desarrollo del país. En el caso actual, debido al auge desarrollista por el que atraviesa Chile y las inversiones planificadas, es que se cifran grandes expectativas para la profesión de Geólogo y el desarrollo de investigaciones y tecnología afines. Como hemos visto, la amplia aplicación de sus destrezas auguran un gran requerimiento al corto y mediano plazo, de esos profesionales. Es y será tarea de las Universidades, formar los grupos humanos, profesionales geólogos, con la cultura necesaria y la mente abierta para las innovaciones que el país requiere, para seguir en su progreso ascendente.