

PASO A PASO

VERSO A VERSO

CARLOS DIAZ URIBE



Dedico esta recopilación a

Alicia

Magdalena, Carlos, Pablo, Juan Andrés, Juan Esteban y Margarita
y respectivas y respectivos "significant ones"
mis nietas y nietos y sus respectivas y respectivos "significant ones"
mis bisnietas y mis bisnietos presentes y futuros
y a quienes me acompañaron, en tramos largos o cortos, por el camino;
amigas y amigos de hoy y de siempre

PROLOGO

A comienzos del 2017 falleció en Santiago uno de mis ex-alumnos y gran amigo, con quien, sólo cuatro meses antes, habíamos estado acariciando una botella de buen carménère mientras conversábamos. Su sorpresiva, breve y fulminante enfermedad fue el más impactante mensaje que hasta ese momento había recibido de que es muy cierto que la vida se nos puede ir en un abrir y cerrar de ojos. Decidí, entonces, no seguir postergando más reunir entre "dos tapas" escritos sobre temas y experiencias que, por una u otra razón, le han ido dando un sabor peculiar a mi peregrinación por los caminos de Dios. Seleccioné algunos que hablan de proyectos en los que participé apasionadamente y otros que recuerdan sucesos que pusieron a prueba mi fortaleza emocional; todos, memorias de un camino recorrido "paso a paso, verso a verso"*.

Empiezo mi tarea en una tarde fría de invierno en Mississauga, ciudad integrante de la región conocida como GTA (Great Toronto Area), donde con Alicia - con quien llevamos más de 60 años viendo crecer nuestra familia - hemos vivido 37 de los 43 años que han transcurrido desde que llegamos a Canadá. Con nuestros cinco hijos, éramos siete los Díaz Arce que bajamos del avión en el aeropuerto de Toronto el 28 de enero de 1975. Hasta el día anterior, yo había sido académico de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, a la que ingresé como estudiante en 1949. El mundo de Beauchef era mi "raison d'être". ¿Qué había ocurrido?

El primer día de trabajo luego del derrocamiento del presidente Allende, el decano de mi facultad me pidió la renuncia al cargo de director del Departamento de Ingeniería de Minas que yo ocupaba, lo que consideré un aviso premonitorio. Semanas más tarde, policía militar interrogó a funcionarios del departamento sobre mis actividades políticas; segundo aviso. El allanamiento de la sede del Instituto de Ingenieros de Minas de Chile, del cual yo había sido vicepresidente hasta septiembre de 1973, fue un tercer aviso. Al recibir una oferta formal de trabajo de la empresa minera canadiense Inco Limited a mediados de 1974 - la que venía a convertirse en un salvavidas en las aguas agitadas en que me encontraba - le pregunté directamente a mi ex-decano, Enrique d'Etigny, en ese momento rector de la Universidad de Chile, su opinión sobre mi situación funcionaria. El me aconsejó aceptar el ofrecimiento de Inco con estas palabras: "Carlos, a Ud. no lo van a dejar tranquilo". Mostrando esa nobleza de espíritu que lo caracterizaba y que siempre lo impulsó a tenderle una mano al afligido, Enrique facilitó mi alejamiento de la universidad, que yo esperaba fuera transitorio, tramitando un permiso administrativo por un año a mi favor. Cuando, a fines de 1975, intenté renovar este permiso por un segundo año, mi cargo académico fue suprimido por la autoridad universitaria. Mi posible nave de retorno al sur había sido quemada.

Fue así como pasé abruptamente del mundo puramente académico al de la ingeniería e investigación de procesos de producción de metales a alta temperatura. Afortunadamente, la nueva carrera que emprendía era en mi campo específico de formación profesional y la abracé con entusiasmo. Fueron más de 20 años intentando resolver problemas fascinantes, contando con colaboradores calificados y recursos materiales prácticamente ilimitados para investigar nuevas ideas en el laboratorio y en

* variación de un verso de Antonio Machado

planta piloto. Esta actividad creó la oportunidad de retomar contacto con colegas en Chile, varios de ellos ex-alumnos míos, que trabajaban en fundiciones de concentrados de cobre, abriendo así la puerta para iniciar un intercambio de experiencias y conocimientos provechoso para ambas partes. Mis viajes a Chile se hicieron frecuentes. Simultáneamente, desde la empresa para la que trabajaba, invitamos a profesores de pirometalurgia de universidades canadienses a iniciar proyectos, cuyo objetivo era investigar aspectos fundamentales de procesos de interés para la empresa, restableciendo así mi convivencia con académicos.

La ordenada organización del trabajo en mi nuevo ambiente laboral permitió que nuestra vida familiar volviera a la normalidad, la que había sido seriamente afectada en los convulsionados años que vivió Chile, y la universidad en particular, a fines de la década del 60 y comienzos de la del 70. Debo confesar que mis responsabilidades como marido y padre no se cumplieron a cabalidad en este periodo, al punto que Alicia me acusó de haber convertido a la universidad en una amante. Prácticamente, no vi crecer a mis hijos. En Canadá, la familia volvió a ocupar mi atención preferencial. Somos cuatro generaciones de Díaz Arce que nos mantenemos en activo contacto con familiares y amigos en Chile. Parafraseando a Ariel Dorfman, los Díaz Arce "vivimos en el norte, mirando al sur".

En las páginas siguientes discuto temas y recuerdo experiencias relacionadas con mis dos grandes campos de actividad, la formación de ingenieros de minas y metalurgistas y la investigación tecnológica minera y metalúrgica generadora de innovación; y me despido, una vez más, de grandes amigos. Durante mi carrera profesional, mis fuentes de inspiración fueron los claustros de cuatro universidades - Universidad de Chile, Universidad de Columbia, Imperial College de la Universidad de Londres, Universidad de Toronto - y los laboratorios de investigación de la empresa minera canadiense Inco Limited. A todos sus académicos y profesionales y compañeros de aventuras va mi más profundo reconocimiento.

Carlos Díaz Uribe

CONTENIDO*

Formación de Ingenieros de Minas y Metalurgistas

- Sesquicentenario de la Carrera de Ingeniería de Minas en la Universidad de Chile - Clase Magistral (octubre, 2003)
- Participación en el Plan de Modernización de la Enseñanza de Ingeniería de Minas en la Universidad de Chile (1995-1999)
- Modernization of Mining Engineering at the University of Chile (1996)

Innovación Tecnológica - Desarrollo Sustentable de la Minería

- Hacia el Desarrollo de una Tecnología Minera y Metalúrgica para Chile (1972)
- Primer Congreso Latinoamericano de Minería y Metalurgia Extractiva - Discurso en Sesión Inaugural (agosto, 1973)
- The Evolution of Copper Smelting Practices in the Last Four Decades - 2009 CIM Distinguished Lecturer
- From Empirical to Science-Enlightened Pyrometallurgy - 2014 Conference of Metallurgists Historical Metallurgy Lecture
- Development of the El Teniente Converter Technology - Presented at COPPER-COBRE 2003

Sociedades Profesionales

- Instituto de Ingenieros de Minas de Chile - Medalla al Mérito (1985)
- Metallurgical Society of the Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum - Inauguration as President (1997)

Homenajes

- Torstein Utigard (abril, 2012)
- Enrique d'Etigny (marzo, 2015)
- Enrique González (diciembre}, 2015)
- Andrew Warczok (mayo, 2018)

Nota Biográfica

Indices

- Onomástico
- Temático (documentos en castellano)
- Subject (documents in English)

* Los documentos incluidos en esta recopilación se presentan en el idioma en que fueron originalmente escritos.

* The documents hereby compiled are presented in the language in which they were originally written.

FORMACION DE INGENIEROS DE MINAS Y METALURGISTAS
DEVELOPMENT OF MINING ENGINEERS AND METALLURGISTS

SESQUICENTENARIO DE LA CARRERA DE INGENIERIA DE MINAS EN LA UNIVERSIDAD DE CHILE

Clase Magistral - Carlos Díaz - Octubre, 2003

Gracias Prof. Casali por sus amables palabras de introducción. Gracias también por la invitación que Ud. y los académicos de su Departamento me hicieron para participar en este acto que conmemora 150 años de vida de la carrera de Ingeniería de Minas de la Universidad de Chile. He mantenido una estrecha relación con la carrera por más de 50 años, como estudiante primero, luego como académico, y a partir de 1975, año en que con mi familia nos radicamos en Canadá, por medio de un activo intercambio epistolar con ex-alumnos y profesores y visitas frecuentes a Chile y, finalmente, gracias a la oportunidad que las autoridades de la Facultad y los profesores de la carrera me dieron de participar nuevamente en la vida del Departamento de Ingeniería de Minas en años recientes. Y no exagero al decir que, a través de mis profesores en la Escuela de Ingeniería, varios de los cuales daban en sus clases testimonio de sus propias experiencias de vida profesional, mi vinculación con esta carrera abarca un periodo que corresponde prácticamente a la segunda mitad de su sesquicentaria existencia en el seno de la Universidad de Chile.

En esta perspectiva, recibí la invitación a conversar con Uds. esta tarde, como un reconocimiento a mi condición de “elder”, palabra con que los pueblos indígenas de Canadá se refieren a aquellos miembros de su comunidad que han adquirido una vasta y variada experiencia de vida. Una simple mirada al calendario me indica que ha llegado la hora de aceptar, con humildad, mi condición de “elder”, más como una responsabilidad que como un honor. En efecto, es tarea de un “elder” contribuir a mantener vivas las tradiciones que definen lo medular de la cultura de su comunidad; y, al mismo tiempo, colaborar en la promoción del continuo crecimiento espiritual, moral e intelectual de su grupo y el de cada uno de sus miembros. Es este el espíritu que inspira mis palabras en el día de hoy.

La invitación que recibí fue extremadamente generosa; tribuna con tema libre. Mi imaginación voló, arrastrando consigo recuerdos que anidan en mi memoria desde mis tiempos de estudiante universitario. El primero que se posó de regreso en mi mente fue el de una conferencia dada en el Salón de Honor de esta Casa Central por un extraordinario actor francés, Jean-Louis Barrault, quien se encontraba de visita en Santiago, encabezando un grupo de la Comédie Française. El título de la conferencia de Barrault fue “Mon Métier”, “Mi Oficio”; un título extraordinariamente simple, pero con un enorme y profundo significado. Mi oficio, en mi caso la enseñanza e investigación en tecnología minera, ha sido en verdad parte esencial de mi vida, al punto de que Alicia, aquí presente, ha insinuado que esta actividad se convirtió en mi “otro amor”. Y creo que tiene razón. No podría haber sido de otra manera, porque pienso que hay una sola

forma de abrazar una verdadera vocación, apasionadamente. De modo que, sin reparos de conciencia, decidí imitar a Barrault, hablando esta tarde de “mi oficio”, y en ese contexto reiterar ideas sobre enseñanza e investigación en tecnología minera que muchos de Uds. ya han escuchado en el pasado.

Estudié en una Escuela de Ingeniería en la que la inmensa mayoría de los profesores no tenía más horas de contacto directo con sus estudiantes que las correspondientes a las de sus clases de tiza y pizarra. Los profesores de media jornada o de jornada completa eran una singularidad. Entre estos últimos, y aún entre los profesores de jornada muy parcial, había verdaderos maestros. El rigor del proceso de selección que operaba en el primer año me ayudó a desarrollar la disciplina de trabajo que me ha acompañado el resto de mi vida. Cultivé el arte de la comunicación verbal en corrillos de estudiantes, que se formaban en los pasillos y jardines de la Escuela para debatir los más variados temas políticos, filosóficos, artísticos desde primeras horas de la mañana y hasta más allá de la puesta del sol. Con mi gran amigo, y más tarde eminente geólogo, Luis Aguirre, elegimos Minas de entre todas las otras carreras de ingeniería ofrecidas por la Escuela en aquellos años, porque ésta era la especialidad que nos iba a dar oportunidad de estar más cerca de los trabajadores en nuestra futura vida profesional. En el contexto histórico de aquellos años, nuestra decisión fue la conclusión de un razonamiento lógico, casi cartesiano. Los estudiantes respirábamos idealismo y romanticismo a pleno pulmón. La mayor parte de nosotros simpatizábamos o militábamos en partidos de izquierda. Marxistas, cristianos, humanistas soñábamos con ser protagonistas importantes en la construcción de una sociedad solidaria e igualitaria. No fue extraño, entonces, que Lucho y yo eligiéramos minas, pensando que esta especialidad era el vehículo más adecuado para poner en práctica nuestros anhelos de renovación social.

Me inicié en los principios y leyes de la química bajo la tutela del Prof. Laín Diez Kaiser, quien no sólo discutía conceptos con sus alumnos en la sala de clase, sino que además nos enseñaba personalmente a medir con rigurosidad los parámetros determinantes de los fenómenos propios de la química acuosa en su laboratorio de química analítica. Nunca olvidaría la lección recibida de Don Laín sobre la importancia de “observar y medir” en el estudio de los fenómenos químicos y físicos, cuya comprensión es esencial en la práctica de cualquier especialidad de ingeniería. Volveré a este importantísimo tema oportunamente. Fue en las clases y en el laboratorio de don Laín donde descubrí la metalurgia química o extractiva. Di así mis primeros pasos por el camino que recorrería durante mi vida hasta el presente.

Recuerdo además con afecto a otros dos grandes maestros, Jorge Muñoz Cristi y Héctor Flores Williams; ambos verdaderos científicos, cada uno a su manera. don Jorge era en aquellos años el paradigma del académico; mientras que don Héctor estaba dedicado casi totalmente a contribuir al desarrollo de la minería chilena. Con ellos como guías, exploramos contrafuertes cordilleranos, valles transversales, roqueros de la costa, minas, estudiando y develando el origen, composición y estructura de las rocas de nuestra corteza terrestre; y descubrimos el poder del microscopio para ampliar la capacidad de nuestros sentidos. Don Jorge y don Héctor nos dieron una importante y casi exclusiva lección de ciencia en acción.

Entre mis maestros de aquel tiempo, don Domingo Almendras también merece mención especial. Fuimos muchos los que en mi generación aprendimos a usar con efectividad el lenguaje matemático bajo su sabia y bondadosa tutoría.

En las postrimerías de mis años como estudiante, vientos renovadores empezaron a soplar en las aulas de Beaucheff. Un nuevo rector había asumido la responsabilidad de conducir los destinos de la Universidad de Chile. Juan Gómez Millas, un historiador, llegó a la rectoría con una clara visión de la importancia que tenía el cultivo de las ciencias naturales y de las tecnologías en el ámbito académico para dinamizar el desarrollo industrial y socio-económico de Chile. El nuevo rector concentró su esfuerzo renovador en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Su primer paso consistió en reclutar jóvenes egresados para enviarlos a universidades extranjeras de reconocido prestigio a hacer estudios de postgrado. Aún recuerdo las palabras sencillas, honestas y afectuosas con las que me saludó luego que acepté un cargo académico en nuestra Facultad. Me dijo el rector: “Tu primera tarea es continuar tu formación con un profesor destacado en tu campo. Tú eliges la universidad. Yo no te puedo ayudar en esta elección, porque no sé cuáles son los centros de excelencia que existen en metalurgia extractiva en el mundo. Sólo sé que éste es un campo de la ingeniería de extraordinaria importancia para el país. Mi única ayuda va a consistir en ponerte un pasaje de ida y de vuelta en el bolsillo. A tu regreso, espero que le des vida a una actividad substantiva de enseñanza e investigación en metalurgia extractiva en nuestra universidad”. Simple pero elocuente arenga, extraordinaria expresión de confianza, claro mandato, magno desafío. Juan Gómez fue un líder al que varios compañeros de mi promoción, entre ellos Igor Saavedra, y egresados de la promoción inmediatamente anterior y de otras posteriores a la nuestra, seguimos con la profunda convicción de que habíamos sido invitados a escribir una página importante no sólo de la historia de nuestra universidad sino que de la historia de Chile. Este fue el inicio de una revolución académica en nuestra Facultad, que condujo a la constitución de grupos de académicos dedicados exclusivamente al quehacer universitario en disciplinas científicas y en tecnologías y, como consecuencia, al desarrollo de la investigación como componente esencial de la actividad académica, a la modernización de la enseñanza de ingeniería y, eventualmente, a la formación de departamentos disciplinarios y al establecimiento de la carrera académica. Esta revolución académica se extendió rápidamente a otras universidades del país.

Ya a fines de la década del 50 empezaron a formularse ideas sobre modernización de la enseñanza de las carreras de ingeniería que se impartían en nuestra Escuela, minas entre ellas. Este proceso continuó con mayor vigor en la década del 60. Simultáneamente, empezaron a forjarse alianzas con universidades extranjeras de gran prestigio en aquellas disciplinas en las que se concentró inicialmente el esfuerzo de desarrollo académico. Al interior de la Facultad, este movimiento fue liderado por Enrique d’Etigny, primero como director de su Escuela de Ingeniería y luego como decano. Enrique d’Etigny no sólo facilitó, sino que participó directamente en la renovación de la enseñanza de ingeniería de minas. Haré solamente un breve resumen de iniciativas llevadas a la práctica en aquel periodo y de las alianzas que se establecieron con universidades extranjeras y, además, con empresas mineras locales.

- Desarrollo de las ciencias de la ingeniería, en particular de: la geoestadística y de la mecánica de rocas en minería; de la química de superficies en procesamiento de minerales; de la termodinámica química y de los fenómenos de transporte en metalurgia extractiva.
- Reclutamiento de especialistas locales en aquellas de estas disciplinas que ya tenían algún desarrollo en Chile. Este fue el caso de química de superficies, disciplina que tomó vida bajo la dirección de Jorge Goldfarb, académico de la

Facultad de Química y Farmacia; y de fenómenos de transporte, campo del saber cuyo cultivo se entregó a Ramón Fuentes, académico del Departamento de Ingeniería Civil.

- Renovación de laboratorios existentes y creación de otros para darle debida importancia a la enseñanza experimental. Dos de los laboratorios creados en ese periodo fueron el de mecánica de rocas y el de microscopía mineral aplicada, este último bajo la tutela de Eliana Almendras.
- Formación de académicos jóvenes en el exterior. Para estos fines, la autoridad universitaria suscribió convenios con la Universidad de Columbia, el Imperial College de la Universidad de Londres y con la Escuela de Minas de París. Columbia nos daría apoyo en economía minera, mecánica de rocas, procesamiento de minerales y metalurgia extractiva; el Imperial College, en procesamiento de minerales y metalurgia extractiva; la Escuela de Minas de París, en explotación de minas y en geoestadística.
- Visitas al Departamento de Ingeniería de Minas de profesores de todas estas instituciones para dictar cursos cortos y contribuir a la reformulación de programas de estudios. En el caso de geoestadística, egresados jóvenes de la Escuela de Minas de París trabajaron en el Departamento de Ingeniería de Minas por periodos de uno y dos años.
- Firma de acuerdos con empresas mineras locales, Enami y Disputada en particular, para obtener la participación de ingenieros con experiencia en innovación tecnológica en la enseñanza de explotación de minas y en la supervisión de seminarios, talleres de proyecto y memorias de título. Muchos de los aquí presentes deben recordar los extraordinarios aportes hechos al respecto por los profesores Jean Chevalier y Jacques Damay.

Los principios que orientaron la renovación de la enseñanza de ingeniería de minas en la Universidad de Chile en la década del 60 tenían como meta darle al futuro profesional:

- Sólida comprensión del mundo material con el que va a trabajar en su vida profesional, basada en el estudio teórico y experimental de las ciencias naturales y de las ciencias de la ingeniería.
- Expedición en el uso del lenguaje matemático en el análisis del comportamiento de sistemas físico-químicos.
- Capacidad para integrar conocimientos de distintas disciplinas por medio de la resolución de problemas y desarrollo de proyectos de creciente complejidad.
- Espíritu crítico e innovador que le permitiera desafiar paradigmas y prácticas establecidas en forma constructiva, presentándole la tecnología como herramienta productiva susceptible de perfeccionamiento e innovación.
- Experiencia industrial a través de prácticas supervisadas y prolongadas en terreno.
- Capacidad para formar equipos de trabajo y participar en ellos creativamente, motivando a los otros integrantes a hacer otro tanto.
- Habilidad para expresarse en forma oral y escrita.
- Interés por continuar el proceso de aprendizaje por cuenta propia, una vez terminados sus estudios formales, y por transformar su lugar de trabajo en un “centro de aprendizaje y generación de ideas”.

Aunque estos ambiciosos objetivos estuvieron lejos de ser alcanzados en los 60, los egresados de ingeniería de minas de la Universidad de Chile de aquellos años escribieron páginas importantes en la historia del desarrollo de la industria extractiva

chilena, en un periodo de transición particularmente difícil. Voy a darles solamente un ejemplo, notable sin duda alguna, de los logros de estos profesionales. Me refiero a la invención y comercialización del Convertidor Teniente.

Como Uds. saben, durante la administración del presidente Eduardo Frei Montalva, el gobierno pactó la chilenización de las grandes minas propiedad de las empresas Kennecott y Anaconda. Kennecott, a través de su subsidiaria Braden Copper, explotaba el yacimiento de El Teniente. Un aspecto importante del acuerdo pactado con Kennecott, compañía que se hizo cargo de la administración de la nueva empresa chilenizada, fue la expansión de la capacidad de producción anual de cobre de 165,000 a 254,000 toneladas. El proyecto fue ejecutado en las postrimerías de la década del 60. En la fundición de Caletones, la mayor producción se iba a alcanzar fundiendo una proporción considerable del concentrado de cobre en convertidores, enriqueciendo el aire de soplado de estos hornos con oxígeno. Este esquema, diseñado por Kennecott, fracasó por razones técnicas. A mediados de la década del 70, la fundición se había convertido en el cuello de botella para lograr la meta de producción de 254,000 toneladas de cobre por año en El Teniente. Un joven egresado de la Universidad de Chile, Hermann Schwarze Dintrans, encabezó un equipo de ingenieros que se dio a la tarea de resolver el problema, investigando opciones tecnológicas que permitieran aprovechar el oxígeno disponible en la forma más eficiente posible. Sus esfuerzos condujeron primero al desarrollo de un quemador oxígeno-petróleo que permitió aumentar considerablemente la capacidad de los hornos de fusión de Caletones; y culminaron con el desarrollo del Convertidor Teniente. La aplicación de estas dos tecnologías autóctonas no sólo resolvió el problema de producción de la fundición de Caletones, sino que cambió definitivamente la práctica de fundición de concentrados de cobre en Chile. Más aún, ambas tecnologías fueron exportadas. El horno de fusión de concentrados operado exclusivamente con quemadores oxígeno-combustible fue adoptado en dos fundiciones canadienses y en la fundición de La Oroya en Perú. El Convertidor Teniente se encuentra hoy día en operación en fundiciones de Perú, México y Zambia y, en el año 2004, pasará a ser la unidad fundamental de producción de cobre en una nueva fundición en Tailandia. No existe otra tecnología dura desarrollada en Chile que haya tenido un éxito similar.

El caso del Convertidor Teniente nos da oportunidad para reflexionar brevemente sobre los factores que catalizan el cambio tecnológico. Al respecto, es importante señalar que las grandes innovaciones se dan en circunstancias históricas singulares. En el ejemplo analizado, estas circunstancias y factores fueron los siguientes:

- Modernización de la enseñanza de ingeniería en la Universidad de Chile y otras universidades chilenas en la década del 60, con un desarrollo paralelo de un entorno académico promotor del análisis crítico y de la innovación;
- Chilenización, primero, y nacionalización, después, de la gran minería del cobre, en aquel tiempo industria vital para la economía chilena, hechos históricos que formularon un gigantesco desafío a los profesionales chilenos. La suerte de la industria ya no dependía de casas matrices con residencia extranjera, sino que estaba en manos chilenas;
- Apertura de la minería del cobre nacional al mundo externo, en el que ya estaban ocurriendo cambios tecnológicos radicales como consecuencia de la creciente presión social por la conservación del ambiente y del aumento explosivo del precio del petróleo.

En otras palabras, la invención del Convertidor Teniente fue el feliz resultado de lo que en lo que en la economía propia de la lengua inglesa se conoce como la perfecta confluencia de “the right people”, “the right place”, “the right time”. Quiero sólo enfatizar que, en este caso, “the right people” fue un grupo de ingenieros jóvenes, egresados de universidades modernizadas.

Hay otros ejemplos de innovación tecnológica en las décadas del 70, 80 y años posteriores en los que egresados de ingeniería de minas de la Universidad de Chile tuvieron destacada participación. Por razones de tiempo sólo menciono al pasar el desarrollo de la tecnología de lixiviación en pila de minerales oxidados de cobre bajo el liderazgo de Esteban Domic, usada hoy día en innumerables faenas productoras del metal en Chile y en muchos otros países; el inicio de la aplicación de la geoestadística a la evaluación de yacimientos y de la mecánica de rocas a la planificación de la explotación de minas.

La meta del esfuerzo modernizador en los años 60 era constituir un centro académico de excelencia a nivel internacional en ingeniería de minas en la Universidad de Chile. Pero el destino le hizo una mala pasada a este proyecto, y a muchos otros. El vendaval político de los 70 sacudió duramente al mundo académico. La “U” fue una de las universidades más afectadas. El Departamento de Ingeniería de Minas sobrevivió la década del 80 y primeros años de la década del 90 gracias a la abnegada dedicación de los directores de este periodo. Parece justo que los recordemos en este acto que conmemora 150 años de existencia de la carrera de ingeniería de minas. Marco Antonio Alfaro, Eliana Almendras, Augusto Millán y el recordado colega y amigo Juan Karzulovic merecen nuestro profundo agradecimiento.

A mediados de la década del 90 se reactivó el proceso de modernización de la enseñanza de ingeniería de minas en nuestra universidad. Algunos de los veteranos de los 60 fuimos invitados a colaborar, lo que nos dio la oportunidad de repetir frente a los estudiantes aquellas famosas y muchas veces citadas palabras de fray Luis de León al volver a la Universidad de Salamanca, luego de más de cuatro años de cárcel: “...como decíamos ayer”.

El “programa de modernización de la enseñanza de ingeniería de minas” se basó prácticamente en los mismos principios de aquél que se había puesto en marcha 30 años antes. En ese lapso, el mundo y el mundo académico en particular habían cambiado profundamente. La especialidad de ingeniería de minas había ido desapareciendo de los programas de estudio de un gran número de universidades en los países desarrollados. Una corriente de pensamiento sustentaba que la creciente complejidad tecnológica requería parcelar la responsabilidad de diseñar y operar las modernas y gigantescas operaciones mineras entre especialistas, y que la ingeniería de minas como tal estaba condenada a desaparecer.

Quienes decidimos a mediados de los 90 intentar fortalecer y mejorar la enseñanza de esta especialidad en la Universidad de Chile teníamos, obviamente, una posición distinta. En un trabajo de Bruno Behn, quien había aceptado dirigir el Departamento de Ingeniería de Minas durante la puesta en marcha del programa de modernización de la enseñanza, y quien les habla sugerimos que el campo específico de actividad profesional del ingeniero de minas abarca la evaluación de yacimientos minerales y la planificación y ejecución de su explotación, y el diseño y práctica de procesos de transformación física y química de los minerales para obtener productos comerciales.

Agregamos que el ingeniero de minas ejecuta estas tareas seleccionando tecnologías que garanticen los más bajos costos de capital y operación, máxima productividad y recuperación de las substancias comerciales contenidas en el mineral, óptima calidad de los productos a obtener, y respeto absoluto por la seguridad y salud de los trabajadores y por las normas de conservación y protección del medio ambiente. Obviamente, en su actividad profesional, el ingeniero de minas se apoya en equipos multidisciplinarios, dado que, efectivamente, los proyectos y operaciones mineras del presente son de gran complejidad. Pero es al ingeniero de minas a quien le corresponde la responsabilidad de darle a un proyecto o a una faena minera la dirección tecnológica integradora necesaria para coordinar todas las operaciones productivas y de apoyo, en función de objetivos de negocios claramente definidos.

¿Qué es lo que justifica la existencia de esta especialidad de la ingeniería, hoy y en el futuro? “La naturaleza del recurso mineral”; esta materia prima es de una sorprendente variabilidad y heterogeneidad. El ingeniero de minas se apoya en un conjunto particular de disciplinas científicas y de técnicas para diseñar tecnologías eficaces y eficientes para caracterizar sus propiedades macroscópicas y microscópicas y planificar su explotación y procesamiento. Este conjunto de disciplinas constituye la fundación sólida del quehacer del ingeniero de minas y, por consiguiente, el meollo del plan de estudios de la especialidad y le da carácter singular a esta rama de la ingeniería.

El programa de modernización de la enseñanza reiteró la meta de desarrollar un centro de formación de profesionales para la minería a nivel internacional en torno al DIM, y propuso dar a los futuros egresados capacidad para liderar los cambios tecnológicos necesarios para mantener a la minería chilena en el más alto nivel de competitividad.

El programa reconoció que en el contexto de la realidad política, económica y social que caracteriza al mundo moderno, una enseñanza de buen nivel de carreras universitarias de alto costo y con matrículas poco numerosas, como es el caso de la ingeniería de minas, sólo es posible en base a alianzas estratégicas entre la universidad y el sector de la economía a la que van a servir estos profesionales. Así es como en Australia y Canadá, países desarrollados, pero con una minería que aporta una cuota importante al producto nacional, la industria extractiva ha estado desde hace ya varios años contribuyendo a sustentar programas en ingeniería de minas en universidades locales.

Este modelo fue adoptado por el programa de modernización de la enseñanza. La Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas consideró esencial integrar a la industria minera a la tarea propuesta desde su inicio, con el objeto de que sus actividades docentes y de investigación en las disciplinas mineras y de metalurgia extractiva consideren las reales necesidades de este sector productivo. La respuesta positiva que las empresas estatales y privadas dieron a esta invitación permitió que universidad e industria entraran en una relación contractual de beneficio mutuo y de largo plazo, con una clara definición de los términos de intercambio. Nació así la cátedra con patrocinio de empresa, varias de las cuales operan en el presente en el Departamento de Ingeniería de Minas. Mi opinión personal es que sin alianzas de esta naturaleza, no es posible mantener en el mundo de hoy una actividad académica de buen nivel en tecnología. El apoyo permanente a programas universitarios cuya meta es formar profesionales para sectores específicos de la producción debe ser un elemento esencial de la estrategia de negocios de las industrias correspondientes. También es justo agradecer en esta oportunidad a las empresas mineras estatales y privadas que

están apoyando el programa de modernización de ingeniería de minas en la Universidad de Chile.

En el marco del programa, la investigación se concibe como una actividad académica cuyo objetivo fundamental es dar a los estudiantes de pregrado y postgrado oportunidades para desarrollar sus capacidades analíticas, de resolución de problemas e innovadoras, integrando conocimientos. Los temas de los proyectos de investigación deben ser relevantes para la industria nacional. Más aún, se reconoce que en varias de las disciplinas propias de la ingeniería de minas el mejor laboratorio es la mina o la planta. No hay duda alguna que la supervisión de proyectos de investigación con proyección industrial es el mecanismo por excelencia para que los académicos se mantengan en todo momento a la vanguardia del desarrollo de sus respectivas disciplinas y vayan así manteniendo la vigencia de la docencia que imparten. En suma, la actividad de investigación debería convertirse en uno de los elementos integrales de la alianza estratégica universidad-industria.

¿Existe algún riesgo de que la universidad pierda su necesaria autonomía académica al establecer un vínculo tan estrecho con la industria? Quiero responder esta legítima pregunta, reiterando primero que en tecnología minera la actividad académica debe ser primordialmente relevante para la industria extractiva local. Quiero agregar que mi propia experiencia industrial en Inco y, en años recientes, como director del Centro de Investigación de Procesos Metalúrgicos Químicos de la Universidad de Toronto, me ha enseñado que la relación industria-universidad no sólo puede sino que debe darse con absoluto respeto a la autonomía académica, y con pleno reconocimiento de la propiedad intelectual de los investigadores del producto de su trabajo y de su derecho a publicar sus resultados. Obviamente, el secreto está en una sabia selección de temas de investigación por parte de la industria y también por parte de los académicos.

El éxito de un programa de formación de profesionales no sólo depende de qué se enseña y cómo se enseña sino además de quién enseña. En mi opinión, sólo quienes han innovado pueden estimular en los estudiantes capacidad innovadora. Tienen este tipo de experiencia los académicos que hacen investigación de buen nivel, pero también la tienen quienes en la industria han adaptado, concebido, desarrollado o comercializado nuevas tecnologías exitosamente. Sugiero que la universidad busque activamente el concurso de estos profesionales para formar nuevas generaciones de ingenieros. La donación a la universidad de una parte substancial del tiempo de algunos de sus profesionales debería constituirse en una modalidad permanente de colaboración de la industria con la universidad. Varias universidades canadienses han integrado profesionales a sus equipos docentes, con beneficios para las empresas en las que éstos trabajan y para las universidades.

Una modalidad adicional de relación entre universidad y empresa es el de los cursos y programas de postítulo que en la práctica constituyen un mecanismo importante de transferencia tecnológica. En los últimos años, el Departamento de Ingeniería de Minas ha liderado la oferta de estos cursos y programas en el país, en los que han participado no sólo académicos locales y extranjeros, sino que además especialistas de prestigio internacional en sus respectivos campos de trabajo.

Nadie discute la contribución que hace la industria minera a la economía nacional. Una parte substancial del espectacular crecimiento que tuvo el producto chileno en la última década del siglo recién pasado es atribuible a la gran expansión que tuvo la actividad

minera. Otros sectores de la producción, también basados en los recursos naturales del país, su mar, sus bosques, su clima privilegiado, han hecho contribuciones importantes a este crecimiento. El país ha alcanzado ya un ingreso per cápita que se eleva sobre los US\$5.000 anuales. Pero este crecimiento puede frenarse si continuamos haciendo sólo más de lo mismo. Tenemos que buscar caminos nuevos, concretos y sustentables que permitan agregar más y más valor a nuestros productos. En el caso chileno, la industria minera constituye en el presente una de las pocas bases sólidas sobre la cual se puede construir más prosperidad. Tomando prestada la expresión acuñada por Radomiro Tomic, quien educó a sus compatriotas sobre la importancia que este sector de la producción tiene en nuestro medio, en el trabajo ya citado de Bruno Behn y quien habla, propusimos que el cobre se convierta en una de las **vigas maestras** en que se apoye el desarrollo tecnológico futuro de Chile, que estimamos vital para su crecimiento económico.

En su libro **Chile Exporta Minería**, Iván Valenzuela y Claudio Rosales, proponen que uno de los nuevos caminos de desarrollo económico fue abierto con el inicio de lo que ellos llamaron una “segunda fase exportadora de minería”, utilizando los productos de las empresas de investigación y desarrollo tecnológico y de ingeniería, y de las industrias manufactureras y de servicios que se han establecido al calor de la expansión casi explosiva que ha tenido la industria minera primaria chilena en años recientes. Para que esta actividad tenga un crecimiento sostenido en el mundo de economía globalizada y altamente competitivo en el que vivimos, Valenzuela y Rosales señalan que es importante que sus actores anticipen oportunamente los desafíos futuros. Bruno Behn y quien habla sugerimos que esto sólo es posible si nuestra propia industria minera primaria está permanentemente abocada a un proceso de desarrollo tecnológico cuyo objetivo sea mantenerse al más alto nivel de competitividad. Esta es la tarea que requiere ingenieros de minas de la estatura de los que está formando, y seguirá formando en el futuro, la Universidad de Chile.

DEL LIBRO PASIONES MINERAS DE HERNAN DANUS (Noviembre, 2008)
Relato de Carlos Díaz, pp. 167-171

Participación en el Plan de Modernización de la Enseñanza de Ingeniería de Minas en la
Universidad de Chile (1995-1999)

Alicia y yo pensamos que nuestra partida a Canadá en enero de 1975 no nos iba a separar de Chile por más de dos o tres años. Desgraciadamente, la situación en las universidades chilenas no mejoró en el plazo esperado. Nuestros hijos crecieron, empezaron a ir a universidades canadienses y se enredaron románticamente. La suerte de la familia estaba echada. Sin embargo, a lo largo de los años hemos seguido manteniendo una estrecha relación con familia, amigos y, en mi caso, con quienes compartimos muchos años de intensa actividad académica.

Cuando Inco Limited, empresa en la que trabajé en Canadá, empezó a vender su tecnología, fui yo el encargado de promoverla en Chile. Mis continuos viajes al país me permitieron fortalecer la amistad que me unía a muchos colegas, varios de ellos ex – alumnos. En 1988 dicté un curso corto sobre "nuevas tecnologías de fundición de concentrados de cobre" en el Departamento de Ingeniería de Minas de la Universidad de Chile, aceptando una invitación de su directora, la profesora Eliana Almendras. Por otro lado, desde nuestra llegada a Canadá, recibimos en mi casa la visita de varios colegas chilenos. Algunos eran académicos de la Universidad de Chile; con ellos conversamos sobre el futuro de la enseñanza de ingeniería de minas en nuestro país. Recuerdo en particular, las visitas de Augusto Millán y de Gustavo Lagos. Fue así como mi vinculación con mi "alma mater" nunca se convirtió en un simple recuerdo del pasado.

La serie de conferencias COPPER-COBRE, iniciativa chileno-canadiense, en cuya gestación participé activamente, fue otro poderoso mecanismo para intensificar mi vinculación con Chile. La primera de estas conferencias se efectuó en Viña del Mar en 1987.

Con el regreso al país de la normalidad política, se dio la oportunidad para que yo empezara a colaborar en la planificación de una política de investigación en minería en Chile. Aceptando una invitación de Iván Valenzuela, subsecretario de minería del gobierno del presidente Aylwin, participé en el primer Taller de Investigación y Desarrollo Tecnológico en la Minería Chilena (Termas de Cauquenes, julio de 1990). Este fue el inicio de varios años de colaboración con Iván.

El taller de las Termas de Cauquenes señaló también el comienzo de mi participación en la reactivación del Departamento de Ingeniería de Minas (DIM) de la Facultad de Ciencias Física y Matemáticas (FCFM) de la Universidad de Chile, que había perdido un número importante de académicos en los años precedentes. Simultáneamente, la

matrícula de estudiantes del ciclo básico de ingeniería en la especialidad de minas había disminuido considerablemente. Colaboré primero con Augusto Millán, director del DIM en ese momento, en un proyecto de equipamiento de un laboratorio de pirometalurgia, el que no prosperó por falta de financiamiento. Con Augusto discutimos muchos otros aspectos relativos a la precaria situación del DIM. En marzo de 1992, hice circular entre algunos académicos amigos un documento titulado “Sugerencias para el establecimiento de estudios de postgrado en minería en la Universidad de Chile”. Luego de conversaciones al respecto con el decano de la Facultad de aquel tiempo, Mauricio Sarracín, él le pidió al profesor Hans Göpfert coordinar la formulación de un programa de postgrado en ingeniería de minas. Aparte de sus objetivos académicos, la iniciativa pretendía reactivar el área de ingeniería de minas dentro de la Facultad sin interferir con la marcha administrativa del DIM. En una primera etapa, Hans organizó cursos cortos de perfeccionamiento profesional con profesores locales y algunos extranjeros, los que tuvieron excelente acogida en la industria. En esta tarea empezamos a recibir el importante apoyo de Bruno Behn, quien era Gerente General de la División Salvador de CODELCO.

Luego del fallecimiento de Juan Karzulovic, quien sucedió a Augusto Millán en la dirección del DIM, el nuevo decano de la Facultad, Víctor Pérez, nombró al profesor Luis Ayala, académico del Departamento de Ingeniería Civil, director-interventor del DIM. El profesor Ayala se hizo cargo del departamento a mediados de 1995. De inmediato se abrió la puerta para poner en marcha un plan más ambicioso de reactivación de esta unidad académica, al que se le dio el nombre de “Plan de Modernización de la Enseñanza de Ingeniería de Minas” (Plan).

Los autores del Plan definimos el campo específico de actividad profesional del ingeniero de minas en los siguientes términos: “Esta especialidad abarca la evaluación y la planificación y ejecución de la explotación de yacimientos minerales, y el diseño y práctica de procesos de transformación física y química de los minerales para obtener productos comerciales”. Señalamos, además, que es la naturaleza variable y heterogénea de la materia prima con que trabaja la industria minera, la que requiere de la aplicación de un conjunto muy particular de disciplinas científicas y tecnológicas para su correcta caracterización y para su eficaz y eficiente eventual explotación y procesamiento. Agregamos que este conjunto de disciplinas constituye la fundación sólida del quehacer del ingeniero de minas y, por consiguiente, el meollo del plan de estudios de la especialidad y le da su sello único y distintivo a esta rama de la ingeniería.

El Plan se propuso establecer en la “U” un centro de formación de profesionales para la minería de nivel internacional. El sello distintivo de los futuros egresados sería su capacidad para liderar el cambio tecnológico necesario para mantener a la minería chilena en el más alto nivel de competitividad. La docencia sería impartida por académicos de jornada completa o parcial con una reconocida trayectoria de aportes creativos al conocimiento básico o al desarrollo tecnológico de sus respectivas disciplinas. Para alcanzar estas metas, el DIM empezó a reforzar sus cuadros académicos, reincorporando a profesionales altamente calificados en jornadas parciales substantivas y al mismo tiempo inició un programa de formación de nuevos académicos de jornada completa. La estabilidad del cuadro académico, condición importantísima en un proyecto de largo plazo, se esperaba lograr compensando el aporte de sus integrantes con sueldos que reflejaran la realidad del mercado ocupacional.

La enseñanza experimental y la investigación fueron consideradas como actividades esenciales en la formación de los nuevos ingenieros de minas. Pensábamos que una actividad de investigación de alto nivel, con activa participación de los mismos estudiantes de la especialidad, que ejemplificara el tremendo potencial que la industria minera tiene para un trabajo de creación intelectual relevante en el contexto chileno y, por lo tanto, muy gratificante, debería ser uno de los factores poderosos que hiciera de la especialidad de minas un foco de atracción para los buenos estudiantes del ciclo común de ingeniería. Paralelamente, postulamos que el objetivo fundamental de las actividades de investigación y de desarrollo tecnológico de las distintas cátedras del Plan era contribuir al proceso de formación de los estudiantes de pregrado y postgrado, dándoles oportunidad para ejercitar sus capacidades de análisis de aspectos y fenómenos básicos de operaciones y procesos industriales y de integración de conocimientos de distintas disciplinas. En esta perspectiva, la componente formadora de nuevos ingenieros pasaba a ser la característica esencial y distintiva de la actividad de investigación en el DIM y la que le daba su sello académico.

La puesta en marcha del Plan fue liderada por Bruno Behn, primero como coordinador de la iniciativa y más tarde (mediados de 1996) como director del DIM. En 1995-96, colaboré con él desde Canadá y en frecuentes visitas a Chile. Luego de jubilar en Inco (comienzos de 1997), empecé a venir a Chile dos veces al año por periodos de dos a tres meses cada vez.

Bruno y yo recorrimos las oficinas de los capitanes de la industria minera estatal y privada, a quienes invitamos a asociarse con la universidad en esta empresa. En las conversaciones que tuvimos con ellos, se les propuso entrar en una relación contractual de beneficio mutuo y de largo plazo, con una clara definición de los términos de intercambio, creándose para este fin una instancia de diálogo estructurada y estable para mantener una comunicación efectiva y fructífera entre las partes. Nacieron así dos mecanismos fundamentales para el desarrollo del plan: la cátedra con patrocinio financiero de empresa y el Consejo Consultivo Universidad-Industria.

La respuesta de la industria fue positiva. CODELCO, representado por su Vicepresidente de Desarrollo, mi ex-alumno y amigo Juan Enrique Morales, lideró el apoyo empresarial al Plan. El 13 de Julio de 1996, el Presidente Ejecutivo de CODELCO, Juan Villarzú, y el rector de la "U", Jaime Lavados, subscribieron un convenio de cooperación que le dio vida a las primeras dos cátedras con patrocinio empresarial del Plan, una en tecnología minera y otra en evaluación de yacimientos. El ejemplo de CODELCO fue seguido más tarde por ENAMI (pirometalurgia), Phelps Dodge (procesamiento de minerales), El Abra (hidrometalurgia y electrometalurgia), Collahuasi (geomecánica y geotecnia), Sonami (gestión y economía minera) y Barrick-Placer (medioambiente en minería). Minera Homestake también colaboró con el Plan. Los ingenieros de minas egresados de la "U", a través de la FIMUCH (Federación de Ingenieros de Minas de la Universidad de Chile), nos apoyaron entusiastamente en la tarea de forjar la alianza estratégica universidad-industria.

Mis largos años de trabajo en el laboratorio de investigación de Inco me habían puesto en contacto con profesores de distintas universidades canadienses y estadounidenses, promoviendo proyectos de investigación de interés para la empresa. Esta experiencia fue valiosa cuando llegó el momento de seleccionar socios académicos externos para el DIM. Necesitábamos estas alianzas para reforzar nuestros grupos académicos y para formar académicos jóvenes en centros universitarios de excelencia en las distintas

disciplinas propias de la ingeniería de minas. El profesor Torstein Utigard, pirometalurgista de la Universidad de Toronto, fue nuestro primer socio académico extranjero en esta nueva etapa de la vida del DIM. Aceptando una invitación que le extendí, el Prof. Utigard decidió pasar uno de sus años sabáticos (julio 1995-junio 1996) en Chile. En el caluroso verano canadiense del 94, él y yo nos juntamos muchas veces en el jardín de mi casa, a escribir un proyecto de investigación sobre “limpieza de escorias de fundición de cobre” y a disfrutar una cerveza bien fría. Este proyecto recibió apoyo de Fondecyt. Obtuvimos financiamiento adicional de la División Teniente de Codelco y del Centro de Investigación Minera y Metalúrgica (CIMM) para costear otros gastos. Durante su estada en Chile, el Prof. Utigard reconstruyó el laboratorio de pirometalurgia y llevó a cabo todo el programa experimental del proyecto Fondecyt con ayuda de un estudiante de la Universidad Técnica del Estado. Estableció, además, excelentes contactos con la industria. El año sabático del Prof. Utigard en el DIM dio comienzo a la reactivación del área de pirometalurgia. El trabajo de investigación en este campo creció rápidamente con la contratación primero de Gabriel Riveros y luego del Dr. Andrzej Warczok, académico polaco, quien había trabajado varios años con Torstein Utigard en la Universidad de Toronto como investigador asociado. El Prof. Utigard continuó en activo contacto con los pirometalurgistas del DIM hasta el año 2008.

Ayudé también a forjar un programa de colaboración con el Prof. Malcolm Scoble, especialista en tecnología minera sustentable de la Universidad de British Columbia. El Prof. Enrique Rubio (cátedra de tecnología minera CODELCO del DIM) obtuvo su doctorado bajo la supervisión del Prof. Scoble.

Un aspecto de singular importancia del Plan fue la consolidación de los programas de postítulo y de postgrado iniciados por Hans Göpfert en 1995. El número de cursos cortos dictados aumentó a 9 en 1996, 12 en 1997 y 20 en 1998. Los instructores eran expertos nacionales y extranjeros, algunos de los cuales tenían prestigio mundial en sus respectivos campos de actividad. La asistencia a estos cursos fue normalmente entre 10 y 15 participantes, algunos de los cuales vinieron de otros países latinoamericanos. Hubo cursos con matrículas de hasta 50 participantes. El alto interés de la industria por esta actividad académica dio origen a programas estructurados conducentes a un diplomado en un área específica de ingeniería de minas. El primero de ellos fue el diplomado en geomecánica y geotecnia. La enseñanza de postítulo pasó así a convertirse en una actividad académica permanente del DIM y se constituyó en un mecanismo importante de transferencia de tecnología a la industria.

El renacimiento de una intensa actividad académica en el DIM logró en corto tiempo revertir el fenómeno de decrecimiento del interés de los estudiantes del ciclo común por la especialidad de minas. La matrícula aumentó rápidamente en calidad y en cantidad, cumpliéndose así el principal objetivo que nos propusimos los autores del Plan.

Mi participación en el desarrollo del Plan llegó a su término en 1999, debido a desacuerdos con la dirección superior de la Facultad; el principal de ellos fue la distinta visión que yo tenía de la naturaleza de la actividad académica en áreas tecnológicas. En estas áreas, a mi juicio, la actividad académica debe convertirse en uno de los factores importantes en la promoción del desarrollo industrial del país. Esto es particularmente importante en minería. Uno de los compromisos que el DIM contrajo con la industria minera, como parte importante de la alianza estratégica que forjó con ella, era formar profesionales que la mantuvieran al más alto nivel posible de competitividad, y orientar sus actividades de investigación para responder a los desafíos

tecnológicos específicos de la industria. Por otro lado, en una especialidad como la ingeniería de minas, es en la práctica profesional donde tiene lugar una gran proporción de la **actividad creativa** que concibe, pone a prueba y finalmente comercializa nuevas tecnologías. No es extraño, entonces, que en otros países mineros (Australia, Canadá, Sudáfrica, etc.) las universidades llenen cargos académicos con profesionales de la industria. Llegado el momento, la actividad creativa industrial previa de estos académicos tiene debido reconocimiento en las instituciones de enseñanza superior. Algunas de estas ideas no encontraron la acogida esperada en la dirección superior de la Facultad cuando quisimos aplicarlas en el DIM. Tampoco encontró acogida un proyecto de formación de un “centro de caracterización de minerales”, que considerábamos esencial para apoyar la investigación en geología y varias disciplinas mineras. Sentí con mucho pesar que había llegado el momento de desvincularme una vez más de mi querida “U”.

No obstante, durante años, en cada nuevo viaje a Chile, volví a visitar a mis amigos del DIM. Me alegraba ver como los jóvenes que salieron a formarse a universidades extranjeras, gracias al Plan, luego de regresar con grados de doctores, le estaban dando vida a una actividad académica de nivel internacional en sus respectivas disciplinas. Año a año el DIM gana concursos FONDEF. Los programas de postítulo y de postgrado se han fortalecido y diversificado. El número de estudiantes de ingeniería de minas ha aumentado considerablemente. No me cabe duda alguna que la “U” seguirá liderando este campo de la actividad académica en Chile en el futuro. De todas las experiencias profesionales que he tenido en mi vida, no hay ninguna que me haya dado más satisfacciones que mi participación en el desarrollo del Departamento de Ingeniería de Minas de la Universidad de Chile.

MODERNIZATION OF MINING ENGINEERING AT THE UNIVERSITY OF CHILE

Prepared by Carlos Díaz and sent to various Canadian universities prior to discussions on their possible participation in the modernization of mining engineering at the University of Chile - June 1996

The University of Chile has a longstanding tradition in mining and extractive metallurgical engineering. Since the graduation of the first mining engineer, in 1856, these professionals have made an important contribution to the development of the Chilean mining industry. Graduates from the University of Chile have had a leading role in technological innovation (El Teniente converter, heap leaching) and in the adoption of modern disciplines and technologies, such as geostatistics and rock mechanics, in industrial practice. In addition, these professionals have demonstrated good managerial and entrepreneurial skills, and have been instrumental in establishing and developing state owned mining companies, such as CODELCO and ENAMI, and the Centre for Mining and Metallurgical Research (CIMM). Today, graduates from the University of Chile occupy positions of high responsibility in state owned and private mining companies, government agencies and research institutes.

Research activities in "earth sciences" were firmly established in the 19th century. However, for many years, research in engineering disciplines was non-existent, and these subjects were taught by successful professionals who donated time to the university as a matter of reciprocity and prestige. This situation changed dramatically in the mid 1950s, when the Faculty of Physics and Mathematics (Sciences and Engineering) underwent a major modernization. Full time positions were created in all departments. Young, promising graduates were sent to pursue advanced degrees at the best North American and European universities, and research activities were initiated in numerous engineering disciplines.

In the Department of Mines (and Extractive Metallurgy), the following areas received preferential attention: rock mechanics, geostatistics, mineral economics, flotation chemistry, pyrometallurgy and hydrometallurgy. Cooperation agreements were established with a number of foreign universities, including Columbia University (rock mechanics, mineral economics, mineral processing and pyrometallurgy), the Royal School of Mines of the University of London (pyrometallurgy, hydrometallurgy and mineral processing), and the School of Mines of Paris (geostatistics). Chilean students obtained masters and doctors degrees at these institutions, and academics from these institutions taught in Chile and assisted in the development of research activities.

Regrettably, the political events and the changes in public policies that took place in Chile in the 1970s and 1980s had a negative impact on its universities. The Department of Mines of the University of Chile was among the most deeply affected. More recently, the local mining boom further contributed to the migration of academic personnel to better paid

positions in industry and government. A small academic group was left. Research activities were reduced, and the quality of undergraduate teaching suffered. The Department was not longer attracting the most talented students.

The University of Chile has decided to reverse this situation and is implementing a plan that aims to establish world class undergraduate and graduate programs. The corner-stone of this plan is a new contractual relationship with industry. An Industry Advisory Council is being formed to maintain an active and stable university-industry dialogue, thus giving industry a permanent voice in the formulation of teaching and research programs. In exchange, the state and private mining sectors will commit substantial financial resources to support "industry chairs"* in all disciplines pertaining to mining, mineral processing and extractive metallurgy. This will help create academic positions with salaries which reflect the local job market, an essential requirement prior to recruiting qualified personnel. Other departments of the Faculty of Physics and Mathematics, Geology in particular, and Chemical, Electrical and Industrial Engineering, will be actively involved in the modernized undergraduate and graduate programs in mining and extractive metallurgy.

Simultaneously, the University of Chile plans establishing long term collaborative programs with well reputed foreign universities in order to rapidly build up the high level "academic body" required by the modernization program. This international cooperation will encompass teaching and research activities. More in particular: newly recruited full-time academic staff will require training to the Ph.D. level; current (and future) staff will need experienced partners to formulate, develop and evaluate research projects; short duration graduate and/or industry oriented courses on specific topics will be given by academics of foreign universities. Academics from these institutions would be welcome to spend sabbaticals at the Department of Mining Engineering of the University of Chile. Obviously, other forms of collaboration would be considered.

At the undergraduate level, teaching will emphasize:

- Hands-on experimental work. This requires revamping and developing teaching laboratories.
- Problem recognition, formulation and resolution. (A good level of teaching of mathematics and natural sciences, including earth sciences, is currently available).
- Computational skills applied to the design, modelling and control of processes, and mine design, planning and scheduling.
- Work on projects of increasing complexity. The students should learn to integrate knowledge from different disciplines, including economics.
- Supervised, long term industrial assignments.
- Team work.
- Development of oral and written communication skills.

In addition, during their school years, the students will hopefully develop the interest and skills to continue learning after completing their formal education, thus helping to transform their future work environments into "learning organizations".

At the graduate level, the modernization plan contemplates strengthening the existing master program and extending it to cover most of the disciplines pertaining to mining, mineral processing and extractive metallurgy. In this respect, the possibility of establishing a "joint master program" with a foreign university is open to consideration. Offering a PhD

program will be considered only when the Department of Mining (and Metallurgical) Engineering reaches the necessary degree of development.

In meetings held in March-May, 1996, the plan was well received by state owned and private mining companies. CODELCO has committed support for two chairs. Indications are that by the end of 1996, there will be financial support for five to six "industry chairs". Support for an additional six chairs could be obtained in 1997. Good research projects should easily qualify for financial support from the "Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica" (CONICYT), the Chilean equivalent of NSERC.

Additional funding to support long term collaborative programs with foreign universities could be obtained from CONICYT and the Canadian International Development Agency (CIDA). CONICYT has recently established a special fund to enhance the development of institutional relations between Chilean and foreign research groups. CIDA has created a "Canada-Southern Cone (of Latin America) Technology Transfer Fund", with terms of reference which indicate that a collaborative program in mining and extractive metallurgy between the University of Chile (or a group of Chilean universities) and Canadian universities would be eligible for support.

INNOVACION TECNOLOGICA
DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA MINERIA

TECHNOLOGICAL INNOVATION
SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF MINING

HACIA EL DESARROLLO DE UNA TECNOLOGIA MINERA Y METALURGICA PARA CHILE

Diciembre, 1972

Introducción

En julio de 1971 el Congreso Nacional aprobó el proyecto de nacionalización de las grandes empresas del cobre. El Instituto de Ingenieros de Minas de Chile (Instituto), tomando consciencia de que muchos de sus miembros tendrían la responsabilidad de administrar y operar una industria vital para la economía del país, decidió dedicar una parte substancial de su quehacer a elaborar ideas para responder en la mejor forma posible a este desafío. Para estos efectos, durante su XXIV Convención en 1971, con el apoyo de sus socios, resolvió dedicar la Convención de 1972 a la discusión de este tema. El trabajo preparatorio incluyó el análisis de las respuestas a una encuesta, preparada por el Instituto, y que fue enviada a organizaciones mineras estatales, a las empresas de la gran, mediana y pequeña minería y grupos de investigación. Los resultados de este análisis fueron discutidos en una "mesa redonda" en la XXV Convención del Instituto, efectuada en Chuquicamata en diciembre de 1972, cuyos participantes representaban respectivamente a ENAMI, ENACAR, CAP-Minería, CODELCO Central y la Sociedad Minera El Teniente.

Los resultados de este proceso que fueron posteriormente publicados en un informe por el Instituto bajo el título que encabeza este documento, consta de los siguientes capítulos: El Desafío, El Déficit de Tecnología y Mirando al Futuro, es este último, con cambios menores de redacción, el que se presenta en las páginas siguientes. Los autores, Hans Göpfert y Carlos Díaz, elaboraron la encuesta antes mencionada y participaron en el análisis de las respuestas; el segundo de ellos fue el moderador de la "mesa redonda" antes mencionada.

MIRANDO AL FUTURO

La nacionalización de nuestras riquezas básicas le ha propuesto una formidable tarea a la ingeniería chilena, en particular a las especialidades minera y metalúrgica; tarea enriquecedora profesionalmente y de incalculables proyecciones sociales. El ingeniero tiene perspectivas jamás imaginadas para el ejercicio de su profesión, con la satisfacción adicional de que el fruto de su actividad beneficiará a todo un pueblo.

Laboratorios universitarios, que rara vez habían tenido la experiencia estimulante de contribuir a resolver problemas de nuestra minería, están empezando a vivir la aventura de participar en la construcción de un futuro chileno para la industria extractiva. Se forman grupos de ingeniería que discuten, analizan y resuelven problemas tecnológicos

cuya existencia desconocían. Decenas de profesionales jóvenes pasan, de la noche a la mañana, de niveles de mando medio a tener responsabilidad en la conducción de la más importante actividad económica del país. Es un mundo nuevo para los ingenieros; lleno de motivaciones.

Desgraciadamente, los cambios políticos que vive el país deparan también momentos amargos a colegas que, por largo tiempo, fueron la cara y la voz de la empresa para los trabajadores. Tal vez, sin quererlo, aparecieron en oportunidades como el lado visible del capital foráneo, cuyas relaciones con los trabajadores no siempre fueron amistosas. Rotas las ataduras que nos ligaban a los expropietarios de las minas, se ha producido una reacción de frialdad y, lamentablemente, a veces de franca hostilidad hacia quienes tenían responsabilidades de supervisión en las minas y plantas de procesamiento de mineral. Esto ha creado situaciones difícilísimas para algunos profesionales, que los llevan a abandonar una tarea a la cual todo chileno capacitado estaba llamado a contribuir.

La participación de todos los integrantes de las unidades productivas en la conducción de sus empresas, legítima aspiración de los trabajadores, que se hace realidad, es también inicialmente fuente de tensiones. Es lógico que cambios tan profundos como éste necesiten tiempo para alcanzar un feliz equilibrio. Los ingenieros y técnicos egresaron de sus respectivas escuelas con una formación que no les permite adaptarse fácilmente a esta nueva dinámica de trabajo. Hay momentos de confusión en las instancias superiores responsables de la producción, relajándose la indispensable disciplina laboral. Esta situación causa también inquietud entre los profesionales.

El Instituto puede decir responsablemente que, a pesar de estos problemas transitorios, la inmensa mayoría de sus miembros está trabajando activamente al servicio de la gran minería del cobre. El déficit de tecnología existente en la "operación" de minas y plantas adyacentes es principalmente el resultado del éxodo de profesionales extranjeros que aún había en Chile en el momento de la nacionalización. En las áreas de "diseño y proyecto" y de "investigación y desarrollo" hay que crear una capacidad aún incipiente en el país. Es importante reconocer que en el último año del gobierno del Presidente Frei Montalva, siendo Ministro de Minería don Alejandro Hales, a iniciativa del Instituto, se creó el Centro de Investigación Minera y Metalúrgica, el que ya está formando grupos de trabajo y formulando proyectos.

Los ingenieros comprendemos los fenómenos sociales más arriba mencionados. Pero creemos que los problemas derivados de ellos son solucionables. Así como la nacionalización de las riquezas básicas nos ha propuesto un desafío tecnológico, también le ha planteado una tarea social y laboral trascendente a quienes tienen la responsabilidad de conducir el proceso de cambios que vive el país. Las situaciones conflictivas pueden y deben enfrentarse con espíritu creativo, para encontrar la justa fórmula que permita a todos los integrantes del "trabajador colectivo" la plena expresión de su capacidad. Si se logra esta meta, la puesta en práctica de ideas como las que se ofrecen en estas páginas podría contribuir al fortalecimiento de la infraestructura tecnológica de nuestra industria minera.

Principios Generales

De los antecedentes a la vista (*respuestas al cuestionario antes mencionado*), se deduce que no será posible cubrir el déficit de tecnología que hoy existe en el corto

plazo. Se necesita, entonces, una estrategia tendiente a optimizar el uso de los recursos disponibles.

Primera consideración. La industria minera constituye un todo. Si bien el cobre es el sector económicamente más importante, el hierro, el carbón, el salitre, el petróleo, materiales no metálicos, son áreas de la minería que deben recibir adecuado apoyo tecnológico. Dado que la minería está casi totalmente en el sector de propiedad social, corresponde a los organismos de planificación estatal buscar el justo equilibrio al respecto. Mientras las empresas no reciban orientaciones sobre la materia, con el déficit de ingeniería que tienen y la presión de metas de producción a alcanzar, seguirán compitiendo entre ellas mismas por profesionales. Esto contribuye a distorsionar aún más la situación presente, dado que no todas están en igualdad de condiciones en esta lucha por ingenieros. Los sectores más débiles con frecuencia pierden profesionales ya entrenados. Sería aconsejable que existiera una política de contrataciones y remuneraciones para la minería a nivel nacional que, respetando la libertad de trabajo, tenga como meta una adecuada distribución de los recursos tecnológicos disponibles.

La incidencia del impacto en el costo del producto final de cada etapa del proceso productivo es el indicador más importante para decidir como canalizar los recursos de ingeniería disponibles. Las respuestas a la encuesta distribuida a las empresas mineras indicó que varias de ellas tienen un déficit de técnicos en explotación de minas. Pues bien, ocurre que el costo de explotación de un yacimiento suele ser el componente mayor en el costo total del producto final.

En el presente, existe escasa comunicación y transferencia de información entre las empresas mineras nacionales, incluso entre aquéllas que emplean tecnologías similares. El hecho no es ajeno a la dificultad natural de comunicación del ingeniero. De esta manera se pierden experiencias valiosas que deberían ser parte del patrimonio tecnológico de toda la industria minera. El simple intercambio periódico del conocimiento, adquirido en la práctica profesional, pondría al servicio de todas las unidades productivas más tecnología que la que cualquiera de ellas podría generar por sí sola.

Algunos de los procesos propios de la industria extractiva utilizan tecnologías que se emplean también en otros campos de la producción. Estas tecnologías tienen, por esta razón, un significativo grado de desarrollo en el país. Este es el caso de la combustión de carbón o derivados del petróleo. La eficiencia en el uso de estos combustibles tiene un impacto importante en procesos pirometalúrgicos, como la fusión de concentrado de cobre en reverberos. En este caso, la industria minera puede beneficiarse investigando el desarrollo de quemadores de gran eficiencia en otros campos productivos.

Ha habido hasta el momento un uso poco eficiente de la asistencia técnica internacional y de especialistas que llegan a Chile gracias a convenios bilaterales con otros países. Investigadores de gran prestigio han venido a centros de investigación estatales, sin que las universidades hayan siquiera sabido de estas visitas. Otros expertos han hecho recomendaciones para resolver problemas de una empresa, sin que la empresa vecina, que tenía problemas similares, haya podido plantearse los. Se puede lograr una mejor utilización de estos recursos, mediante una adecuada coordinación entre todas las organizaciones que pueden beneficiarse con ellos.

Operación de Procesos

El análisis hecho sobre la naturaleza de las actividades de trabajo de los ingenieros de "operación" indica que, en muchas de las empresas encuestadas, estos profesionales están subutilizados. Curiosamente, estas mismas empresas declaran estar haciendo un óptimo aprovechamiento de sus cuadros técnicos. Al parecer, no hay claridad respecto al campo propio de trabajo de un ingeniero de "operación".

Se ha señalado que una de las singularidades de la operación diaria de los procesos de la minería es dar sorpresas periódicas al operador, debido a fluctuaciones en las características y composición mineralógica de yacimientos en explotación. El adecuado control y optimización de los procesos, la oportuna y apropiada reacción frente a este tipo de eventualidades dependen de la capacidad crítica y creativa del "operador". Esta se adquiere parcialmente en la universidad, en el estudio de los fenómenos físicos y químicos propios de los procesos industriales, pero su madurez se logra en la dedicación constante del ingeniero al análisis en profundidad de los sistemas y procesos a su cargo. Este tipo de actividad constituye la excepción en el presente.

Sería aconsejable mantener grupos de ingeniería de "operación" que hagan de ésta su tarea fundamental. Sus recomendaciones se pondrían en práctica a través de la línea de mando, coordinándose así con la administración de la respectiva unidad productiva. El seguimiento de los resultados de estas recomendaciones por la línea de mando es condición para asegurar el éxito de esta modalidad de "operación", la que debería dar frutos inmediatos. Los redactores de este informe piensan que un esfuerzo decidido en este sentido debería traducirse en aumentos en la producción con una consecuente reducción en los costos, más allá de lo que podría sospecharse.

Pasará tiempo antes que los grupos de investigación en formación empiecen a hacer su aporte a la extracción y procesamiento de minerales. El accionar de estos grupos tiene un horizonte más amplio que el de los equipos de operación y, por lo tanto, no los sustituyen.

Diseño y Proyecto

Existe una capacidad limitada y dispersa en este campo. Hay pequeños grupos en algunas empresas; CODELCO y ENAMI tienen los suyos. El hierro inicia una nueva experiencia con una empresa autónoma, Ingeniería del Pacífico. El carbón intenta desarrollar alguna actividad de "ingeniería de procesos" con escasos recursos humanos.

Una primera tarea es la coordinación de estos grupos, los que aisladamente nunca alcanzarán masa crítica para producir ingeniería de calidad. Esta coordinación debería hacerse por áreas tecnológicas. Hay, afortunadamente, algunos intentos al respecto. El más importante es el acercamiento entre los grupos de pirometalurgia de CODELCO y ENAMI para abordar en conjunto proyectos de ampliación y modernización de fundiciones y posible construcción de nuevas plantas.

Es interesante constatar que la "ingeniería de procesos" que debe desarrollarse puede, en ciertas áreas, ser utilizada por casi todos los sectores de la minería. ENACAR, al responder la encuesta, mencionó los siguientes temas en los que sería provechoso para el carbón aunar esfuerzos y compartir experiencias con la minería subterránea del

cobre, calizas y hierro en el futuro: avance de túneles, mecánica de rocas aplicada, ventilación, transporte interior y comunicaciones.

Se ha sugerido como primer paso hacia la coordinación de los grupos de Diseño y Proyecto su instalación bajo un techo común. De este modo podrían vencerse con mínimo esfuerzo las resistencias que siempre ofrecen los grupos de mayor tradición a la pérdida de su individualidad.

La capacidad limitada que hoy día existe en este campo plantea la necesidad de hacer una definición de prioridades en el estudio de los proyectos existentes. Es posible que sea necesario importar ingeniería, pues la urgencia que tienen para el país ciertos proyectos no permite esperar el desarrollo adecuado de la ingeniería nacional. Si éste es el caso, una de las condiciones a exigirse a licitantes foráneos debería ser la incorporación a los equipos de trabajo del más alto número posible de ingenieros chilenos. De esta manera iría aumentando la experiencia nacional en un campo de la ingeniería que tiene algo de arte.

El desarrollo de la "ingeniería de procesos" en el país debería tener un efecto positivo en la promoción industrial manufacturera. La ingeniería extranjera utiliza en sus soluciones materiales y equipos extranjeros. El aumento creciente de ingeniería chilena debería estimular la expansión de la industria local para reemplazar progresivamente importaciones. En el diseño y construcción de equipos para la minería tenemos el amplio horizonte que nos ofrece el mercado subregional andino, al que pertenecen los más importantes países mineros de Latinoamérica. CODELCO ha iniciado contactos con MINERO-PERU y COMIBOL al respecto.

Chile cuenta con numerosas empresas de ingeniería en las especialidades civil, eléctrica, industrial y mecánica. La "ingeniería de procesos" de la industria extractiva encontrará en ellas amplia capacidad para la ingeniería de apoyo requerida en sus propios proyectos.

Investigación y Desarrollo

En múltiples oportunidades, el Instituto y algunos de sus miembros han insistido en la importancia que tiene para el país contar con grupos de investigación y desarrollo para la industria extractiva nacional. No se trata de tener capacidad para estudiar y resolver problemas circunstanciales, sino para crear tecnología en competencia con los países mineros más avanzados. Pero, sólo recientemente estos llamados han tenido una respuesta apropiada. En estas páginas, el Instituto quiere insistir, una vez más, que la independencia económica de Chile sólo será posible en la medida que el país dote de independencia tecnológica a aquellos sectores de la producción que son vitales para el desarrollo nacional. La decisiva influencia que tiene en nuestra economía la industria extractiva, exige darle a este sector de la producción la más alta prioridad en cualquier planteamiento de política tecnológica que se formule. Al respecto, debe hacerse notar que, a pesar de los esfuerzos hechos por la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT), Chile aún carece de una política de "desarrollo científico y tecnológico".

Hoy día, los problemas planteados por nuestra minería superan la capacidad de investigación existente en el país. Mientras ésta se alcanza, lo que tomará años, sólo cabe aprovechar integralmente los escasos recursos disponibles, allí donde estén,

estableciéndose un sistema nacional de investigación al que pertenezcan, en igualdad de condiciones, los centros estatales y los grupos universitarios. Estos últimos, con todas las limitaciones que los afectan, tienen ya experiencia en investigación, la que les ayudará a hacer un aporte significativo.

La asignación de proyectos debería hacerse por un comité integrado principalmente por representantes de la industria, en base a la capacidad de estudio de cada uno de los grupos existentes. Sería responsabilidad de este comité decidir proyectos prioritarios. A este comité deberían tener acceso todos los sectores de la minería. En este momento, sólo el cobre, en particular la gran minería, cuenta con algún apoyo técnico.

La coordinación de centros estatales y grupos universitarios debe garantizar que todos ellos gocen de condiciones similares de trabajo en bibliotecas, equipamiento, fondos de operación, becas de perfeccionamiento para su personal, asistencia a congresos y, en lo posible, remuneraciones. Las condiciones disminuidas en las que hoy se encuentran los grupos universitarios resultan desmoralizantes para los académicos, dificultando así el aporte en investigación que de ellos se espera y su labor docente.

La organización de seminarios periódicos sobre temas específicos serviría para el intercambio de información y experiencias entre los miembros del sistema. La discusión abierta del avance de los proyectos y de las dificultades encontradas en su desarrollo harían posible la contribución de ideas de quienes no están trabajando directamente en estos proyectos. El secreto innecesario y exagerado con que hoy se conducen algunas investigaciones impide este enriquecimiento mutuo entre quienes participan en un esfuerzo de beneficio para el país.

Es obvio que los criterios de crecimiento de los centros estatales y grupos universitarios no pueden ser los mismos. Mientras estos últimos se expanden en función de su tarea formadora de nuevos profesionales en los niveles de pre y postgrado, los primeros lo hacen considerando la cantidad y magnitud de los problemas que la industria va planteando. En todo caso, los centros estatales no deberían duplicar la capacidad existente, hoy o en el futuro, en las universidades, en la medida que ésta sea suficiente para atender las necesidades del país. Habrá líneas de trabajo en las que un solo grupo, cualquiera que sea su ubicación, podrá satisfacer los requerimientos relevantes. La duplicación de capacidades constituiría un mal uso de los recursos disponibles.

Los centros de investigación estatales, además de coordinar actividades entre ellos, deberían por ahora poner énfasis en desarrollar líneas de trabajo en temas no cubiertos por las universidades, considerando las necesidades prioritarias de la industria. El personal para este fin podría reclutarse, en ciertos casos, en la misma industria, en particular en grupos de "ingeniería de operación". Esa experiencia sería valiosa para los nuevos investigadores.

En este periodo inicial de desarrollo tecnológico en el país, se ha notado cierta tendencia de parte de los centros estatales por establecer una división del trabajo en investigación, reservándose ellos la de naturaleza "aplicada" y dejando la "básica" para las universidades. Tal división podría ser conveniente sólo en algunas líneas. De modo que la división del trabajo mencionada debería ser analizada más cuidadosamente. Desde luego resulta imposible hacer investigación básica significativa para el país sin experiencia de investigación aplicada. De esta última surgen preguntas que dan vida a proyectos fundamentales que tiene sentido abordar. En áreas como la minería, por sus

características, la investigación universitaria debería tratar de responder preguntas fundamentales planteadas por la industria y generar conocimientos que contribuyan a su desarrollo tecnológico. Este es el caso de campos como la Mecánica de Rocas aplicada a la explotación de Minas. Por lo tanto, la participación de las universidades en el sistema nacional de investigación minera y metalúrgica propuesto es indispensable.

Los grupos universitarios enfrentan serios problemas administrativos para servir eficientemente a la industria. Las dificultades son de variada naturaleza. Trabas en el manejo presupuestario, tramitación lenta de importaciones de equipos y materiales para laboratorios, etc. Es urgente agilizar el sistema. No es posible que, obtenido el financiamiento, la importación de un instrumento tome dos a tres años. ¿Quién puede sorprenderse de la creciente "fuga de cerebros"? ¿Hay alguien en este país, con capacidad de decisión, que tome consciencia del daño que se le hace a la economía, obstaculizando la pronta solución de problemas metalúrgicos que existen en Exótica o de los de explotación que afectan las operaciones de El Salvador y El Teniente? Las autoridades de gobierno facilitarían enormemente la labor de los investigadores resolviendo los escollos administrativos señalados.

Más de alguien puede pensar que el establecimiento del sistema de investigación minero-metalúrgico propuesto requiere de un esfuerzo financiero que el país no está en condiciones de hacer. Al respecto, cabe recordar que, hasta la fecha de la nacionalización, la gran minería del cobre cargaba sumas substanciales a sus costos por concepto de investigación y que hacía importantes aportes a instituciones extranjeras para financiar proyectos que no siempre eran de interés para el país. Además, a Anaconda se le pagaba 1% de las ventas del cobre por concepto de asesoría a empresas mixtas de las cuales era socia. Al precio presente, que es el más bajo que haya tenido el metal en los últimos años, este 1% alcanza a 7 millones de dólares. Cabe preguntarse ¿podrá el país gastar tan sólo una fracción de las sumas mencionadas para conquistar su independencia tecnológica?

Formación de Personal

La sola cuantificación de la necesidad de profesionales para la industria minera en los próximos cinco años (*respuestas al cuestionario antes mencionado*), es un aporte valioso para orientar a las universidades en su tarea formadora de ingenieros. Los departamentos universitarios pertinentes deberían recibir el financiamiento apropiado para llevarla a cabo.

El fortalecimiento de las relaciones universidad-industria es vital para que los programas de estudio en "ingeniería de minas y metalurgia extractiva" respondan a las más urgentes necesidades de la minería nacional. Una forma importante de relación es la que se da en el plano de la investigación tecnológica. Otra, es la participación de académicos en los seminarios técnicos organizados por la industria. Una tercera, a la que asignamos gran importancia, es la práctica profesional de académicos en minas y plantas de procesamiento de mineral.

La formación de profesionales debería hacerse en vinculación estrecha con la industria. Es frecuente que los egresados rechacen ofertas de trabajo en las faenas, por sentirse ajenos a la actividad de terreno. La Universidad de Chile intenta corregir esta situación con la incorporación de un semestre completo en mina o planta, obligatorio para todos los estudiantes de "ingeniería de minas y metalurgia extractiva".

Las necesidades en tecnología que tiene nuestra minería exigen acelerar la implementación de programas de postgrado en áreas pertinentes en nuestras universidades. La contratación de profesores extranjeros en aquellas áreas particularmente débiles en el país, por periodos de dos a tres años, permitiría contar con cuadros académicos apropiados para esta tarea en un corto plazo. Hoy día, la industria y los centros de investigación traen a Chile, con gran facilidad, expertos de alto nivel para actividades muy puntuales. En cambio, las universidades carecen del financiamiento adecuado para estos efectos. Es en las aulas y laboratorios universitarios donde la labor de estos especialistas tiene un efecto multiplicador mayor.

El desarrollo deseado de los departamentos universitarios ligados a la minería no será posible con el sólo esfuerzo de sus respectivas casas matrices. Hacemos notar que, aún en países en los cuales hay universidades con gran capacidad financiera se está trabajando a nivel nacional para garantizar el fortalecimiento de disciplinas cuyo peso comparativo es menor. Así ocurre, por ejemplo, en los EE.UU., donde hay también una seria escasez de profesionales para la industria extractiva. El Senado norteamericano formó una comisión especial para analizar el tema. Posteriormente se dictó una ley, conocida como la ley Osborne, nombre del actual director del Servicio de Minas norteamericano, que otorga fondos para el fortalecimiento de "departamentos universitarios de minas y de metalurgia extractiva". Este es el tipo de acción que necesitamos en Chile.

Una aspiración muy sentida de los ingenieros chilenos es la posibilidad de perfeccionarse permanentemente. A pesar de que ha habido un notable progreso en esta materia, aún hay empresas que ponen dificultades a su personal para asistir a cursos y seminarios que, en gran número, ofrecen hoy día las universidades chilenas. CODELCO ha dado pasos muy positivos al respecto, solicitando a las universidades, u organizando con ellas, cursos especializados para sus ingenieros. ENAMI siempre ha tenido una actitud muy positiva en esta materia.

Los ingenieros de "operación" deberían tener la oportunidad adicional de postular a becas en el exterior y asistir a conferencias en campos seleccionados por la misma industria. El ver a sus colegas de "diseño y proyectos" y de "investigación" tener oportunidades de perfeccionamiento que ellos no tienen, los desmoraliza. El perfeccionamiento profesional permanente de los ingenieros de "operación" es, por lo demás, condición para que haya una interacción fructífera entre los tres campos de la ingeniería.

Hacia la Exportación de Ingeniería

Las circunstancias nos han dado la oportunidad de alcanzar niveles de excelencia en un área de la ingeniería de gran importancia para muchos países del "tercer mundo". El esfuerzo que debemos hacer para que nuestra minería se convierta realmente en la palanca de nuestro desarrollo económico nos dará una alta capacitación que, más adelante, podremos poner al servicio de otros pueblos.

Esto no es una utopía. Países más pequeños que el nuestro, y con una industria extractiva menos significativa para su economía, nos dan un ejemplo al respecto. Más aún, a pesar de nuestras debilidades tecnológicas, ya tenemos algo que enseñar a otras naciones. La Organización de Estados Americanos (OEA) ha encomendado a

universidades chilenas la tarea de fortalecer las disciplinas tecnológicas mineras y metalúrgicas a nivel regional en el marco de su Programa para el Desarrollo Científico y Tecnológico de Latinoamérica. Ingenieros e investigadores de países hermanos se forman hoy en Chile, trabajando al lado de nuestros académicos en el estudio de los problemas de la minería nacional.

Nuestro objetivo para el futuro no muy lejano debería ser la exportación de tecnología. Allí estarán los grupos de "diseño y proyecto" y de "investigación y desarrollo" que hayamos formado. El mercado andino, en particular, está abierto a un posible gran intercambio tecnológico. Los "colegios de ingenieros" de estos países se han pronunciado favorablemente a esta idea. La ingeniería chilena abriría puertas a nuestra producción industrial en otras tierras.

Estas páginas desean contribuir a alcanzar esta meta.

PRIMER CONGRESO LATINOAMERICANO DE MINERIA
Y METALURGIA EXTRACTIVA

Santiago, Chile, agosto 27- septiembre 1, 1973

Palabras de Carlos Díaz - Sesión Inaugural

Desde los comienzos de la Historia, el hombre ha querido comunicarse con sus semejantes para compartir lo esencial de su ser, el fruto de su capacidad creadora, estructurando así la ya enorme herencia cultural de que gozamos, quienes hemos tenido la fortuna de vivir en una época preñada de venturosos posibles. En la antigua Grecia, fueron los santuarios, los juegos deportivos, los círculos filosóficos, los dramaturgos y poetas, agentes vigorosos del diálogo de los espíritus. En el mundo moderno éste ha tomado mil formas distintas, gracias a los prodigios alcanzados por la ciencia y la tecnología. Sin embargo, sigue siendo el encuentro personal la modalidad más rica de comunicación entre los hombres y la que abre más rápidamente el difícil camino hacia la constitución de una sola gran familia universal.

Es por esta razón que, hace ya más de un año, el Instituto de Ingenieros de Minas de Chile convocó al Congreso que hoy inauguramos. Respondiendo espontáneamente a ese llamado, se encuentran hoy en esta sala colegas venidos desde todos los rincones del continente. Los ingenieros de minas chilenos nos sentimos honrados con su presencia y les brindamos la más calurosa bienvenida. En los próximos días estrecharemos los lazos de afecto que nos unen a ellos, a través del diálogo cordial, que estamos ciertos contribuirá a enriquecernos mutuamente y a vigorizar nuestra voluntad de acción al servicio de nuestros pueblos.

Invitados especialmente, han venido también prestigiosos profesores universitarios y expertos de empresas mineras y metalúrgicas de países situados más allá de las fronteras de América Latina. Su participación en los simposios técnicos programados dará a éstos un nivel que raras veces han alcanzado torneos similares efectuados en la región. Tomo la representación de todos los colegas latinoamericanos que concurren a este congreso para agradecerles su presencia entre nosotros y su valioso aporte a nuestras discusiones. A todos ellos les deseamos una grata estada en nuestro suelo.

Varios de los participantes en este congreso han llegado acompañados de miembros de sus respectivas familias. Un saludo afectuoso para todos ellos, junto a la invitación a participar en el programa de visitas a lugares de interés en Santiago y sus alrededores, preparado por un comité integrado por cónyuges de miembros de nuestro Instituto, a quienes agradecemos su contribución al éxito de nuestro encuentro.

Nuestra gratitud se extiende al Ministerio de Minería de Chile, a la Organización de Estados Americanos, y a las siguientes organizaciones y empresas chilenas: Comisión

Nacional de Investigación Científica y Tecnológica, Corporación del Cobre, Empresa Nacional de Minería, Compañía de Cobre Chuquicamata, Sociedad Minera El Teniente y Departamento de Ingeniería de Minas de la Universidad de Chile. Varias de ellas contribuyeron al financiamiento de este congreso. En particular, el patrocinio del gobierno chileno abrió numerosas puertas, facilitando la tarea del comité organizador del congreso. Muchas gracias Sr. Ministro de Minería, don Pedro Felipe Ramírez, por su permanente apoyo y por acompañarnos en esta sesión inaugural.

Junto al comité organizador hubo un eficiente ejército de colaboradores, integrado por el personal del Instituto de Ingenieros de Minas de Chile y estudiantes y personal del Departamento de Ingeniería de Minas de la Universidad de Chile y de la Empresa Nacional de Minería. La abnegación y entusiasmo con que ellas y ellos se entregaron a esta tarea fueron verdaderamente ejemplares.

"Poblad y someted la tierra" dice el mandato bíblico. El logro de esta meta sólo empezó a hacerse posible con el acelerado desarrollo que experimentaron las ciencias naturales y el maquinismo en el Renacimiento. La tradición helenista, que planteaba oposición entre humanismo y técnica, sólo fue superada por filósofos de la época. En su Discurso del Método, dice Descartes: "Es posible desarrollar conocimientos muy útiles para la vida y que, en lugar de la filosofía especulativa que se enseña en las escuelas, se pueda encontrar una que permita además estudiar la fuerza y las acciones del fuego, del agua, del aire, de los astros, de los cielos, de todos los cuerpos que nos rodean, con tanta claridad como conocemos los diversos oficios de nuestros artesanos, en cuyo caso podríamos aplicar estos conocimientos donde sea pertinente. Nos convertiríamos así en dueños y operadores de la naturaleza, abriendo nuevos horizontes para el perfeccionamiento del hombre".

Fue entonces que las ciencias y la tecnología empezaron a desarrollarse con gran vigor, ofreciéndonos hoy el cumplimiento de los augurios de Fausto, basados en la fe en el poder ilimitado del ser humano. Paradójicamente, ciencia y tecnología han originado un materialismo que envenena nuestra existencia, empobrece nuestra visión del mundo y de la vida, entorpeciendo así nuestra capacidad para entender el sentido que la tecnología debería tener en la evolución de la humanidad. El resultado es una inversión de valores, subordinando el hombre a la técnica, en lugar de poner ésta al servicio del hombre.

El estado actual de la ciencia y tecnología en América Latina aún no presenta esta contradicción en forma aguda. Nosotros, los ingenieros, debemos tratar de evitar que tal situación ocurra, teniendo presente que, como acertadamente ha dicho el pensador francés Roger Garaudy, "la historia humana es la transformación de la naturaleza por el hombre y, como consecuencia, la transformación de su propia naturaleza en constante desarrollo". En este contexto, el desarrollo regional de ciencia y tecnología es una tarea histórica ineludible, que exige nuestra activa participación.

En las sesiones de trabajo de este congreso, deberíamos sugerir mecanismos que nos permitan lograr una integración de esfuerzos para el desarrollo de tecnologías mineras y metalúrgicas que permitan la explotación de los recursos naturales regionales en armonía con los valores culturales de nuestros pueblos.

En el mundo de hoy, las sustancias de origen mineral se han convertido en recursos indispensables para la humanidad. A lo largo del siglo XX ha habido un aumento extraordinario en el consumo per cápita de minerales - combustibles, minerales metálicos y no-metálicos - el que ha crecido de US\$8,50 en el año 1900 a US\$45 en 1970, en moneda de igual poder adquisitivo. Se estima que en los próximos 30 años este consumo alcanzará a los US\$80. Considerando que se estima que en el mismo periodo la población mundial se duplicará, la industria minera debería cuadruplicar su producción actual para satisfacer esta demanda.

América Latina, con sólo el 8% de la población mundial, posee enormes reservas minerales. A la fecha, se estima que en nuestro subsuelo se encuentra el 13% del hierro, el 18% del aluminio y el 30% del cobre explotable. Además, hay reservas importantes de níquel, molibdeno y otros metales indispensables para la producción de las aleaciones que se han desarrollado en años recientes. La prospección geológica, que se ha intensificado en muchas regiones de nuestro continente, pondrá ciertamente al descubierto reservas aún mayores. Si se agrega que la intensidad presente de explotación de nuestros minerales es significativamente menor que el promedio mundial, es fácil concluir que en el futuro próximo la presencia de América Latina en el mercado de productos minerales crecerá substancialmente.

En el presente, los productos de la industria minera representan el 40% del total de las exportaciones de la región. Es evidente que el crecimiento esperado de esta industria tendrá un importante y positivo impacto en el desarrollo de nuestras economías. El futuro de nuestros pueblos depende en gran medida de la sabiduría con que manejemos esta industria. Las riquezas de nuestro subsuelo deberían convertirse en fuente principal de recursos para un desarrollo industrial del continente que tenga como meta mejorar la calidad de vida del hombre latinoamericano. He aquí una primera y fundamental razón para una acción coordinada entre los países latinoamericanos en defensa de sus riquezas mineras.

Son muchos los factores que determinarán un acertado futuro desarrollo de la industria minera regional, que incluya una substancial expansión de su producción. En un mundo en que ciencia y tecnología se han convertido en herramientas esenciales para aumentar la productividad industrial y, por lo tanto, en el logro de ventajas competitivas, será la voluntad de acción y la capacidad creativa de los científicos e ingenieros que trabajan en nuestra industria extractiva factores importantes para alcanzar las metas deseadas. Son ellos los llamados a desarrollar tecnologías que le permitan a América Latina el manejo independiente de su potencial minero, para que a la vez éste juegue el papel deseado en su desarrollo económico y social.

Hay quienes creen que las tecnologías que se usan en la minería son primarias y simples. Esta era efectivamente la situación hasta hace no mucho tiempo atrás. Sin embargo, la extraordinaria demanda por metales durante la segunda guerra mundial, y fenómenos tales como el agotamiento progresivo de los yacimientos de altas leyes en el mundo de postguerra; la aparición de sustitutos para algunos metales; la contaminación ambiental; la incorporación de países con gran dinamismo industrial a la producción de minerales y metales, etc., han dado un impulso vigoroso a la investigación básica y aplicada y a la innovación tecnológica en minería y en metalurgia extractiva. Las grandes empresas mineras cuentan con centros de investigación que están

permanentemente creando nuevos procesos que incorporan a las reservas económicamente explotables yacimientos de baja ley, reducen sus costos de producción y mejoran la calidad de sus productos. La carencia de esta capacidad conduce a la dependencia tecnológica, que es la nueva cara de la dependencia económica y política. Durante esta semana tendremos una demostración palpable del grado de sofisticación que ha alcanzado la tecnología minera y metalúrgica hoy en día, a través de los trabajos que se presentarán en los tres simposios técnicos de este congreso.

Pero hay aún otras poderosas razones que exigen que América Latina desarrolle una capacidad tecnológica minera propia. En un trabajo publicado a principios de 1973 por el Instituto de Ingenieros de Minas de Chile sobre la situación actual y desarrollo futuro de la tecnología minera y metalúrgica chilena, se leen las siguientes consideraciones en relación con esta materia, que se reproducen en la ponencia chilena sobre integración tecnológica:

- La naturaleza es extraordinariamente variada. El acontecer geológico ha estructurado una corteza terrestre que nos depara novedades y sorpresas permanentemente. Cada yacimiento mineral es distinto de todos los ya conocidos y obliga a un detallado estudio para decidir el camino apropiado para su explotación y beneficio posterior. No pueden aplicarse tecnologías establecidas sin experimentación previa. Más aún, para un mismo yacimiento, los métodos de explotación y tratamiento inicialmente adoptados, rara vez mantienen su validez hasta su agotamiento.
- Es esta heterogeneidad geológica de los yacimientos en explotación la que va proponiendo a lo largo del tiempo nuevos problemas a los especialistas. Más de un observador pudo haber pensado que el reemplazo de cuadros técnicos extranjeros por chilenos en la gran minería del cobre chilena no requeriría sino la mantención de una supuesta eficiencia operativa transferida por la ingeniería foránea. Profundo error... porque, como se ha demostrado, la industria minera propone un esfuerzo tecnológico creativo permanentemente. La falta de capacidad para responder se paga a un alto precio.

Nuestra tecnología debe tener una clara dimensión humana. No sólo los cuadros técnicos superiores, sino que también todos los trabajadores deben sentirse invitados a participar en el esfuerzo creativo. Condición esencial para el logro de esta meta es la educación permanente del trabajador. En este momento, se estima que la segunda revolución industrial impulsada por la automatización, basada en el uso inteligente de computadores, exigirá que la mayoría de los obreros industriales tengan el mismo nivel de educación que el necesario para ingresar a las universidades y, además, capacidad para continuar perfeccionándose y adaptándose a los incesantes cambios que ocurrirán en su campo ocupacional durante su vida laboral. Esto sólo es posible si nosotros, los ingenieros, nos sumamos al proceso educativo de nuestros compañeros de trabajo. Nuestro objetivo debería ser formar en nuestros lugares de trabajo equipos integrados por personas que participen inteligentemente en las tareas propuestas, con cabal comprensión de ellas. La actividad laboral alcanzaría así esa dimensión profunda que le da el Padre Chenu en su bella concepción teológica del trabajo: "El trabajo continúa la obra del Creador y por medio de los trabajadores continúa Dios estando en el mundo y transformándole".

Colegas latinoamericanos y chilenos! Tenemos ante nosotros una maravillosa aventura que vivir. Es voluntad de nuestros pueblos que recorramos unidos el camino hacia un mundo más digno, más justo, más humano. Los gobiernos del continente, reunidos en Brasilia, en mayo de 1972, en la Conferencia Especializada sobre la Aplicación de la Ciencia y la Tecnología al Desarrollo de América Latina, haciéndose eco de este anhelo, reconocieron que "la integración de los países de América Latina es uno de los objetivos del Sistema Interamericano" y reafirmaron que "orientarán sus esfuerzos y tomarán las medidas necesarias en el campo de la ciencia y la tecnología a fin de contribuir al logro de este objetivo en el más corto plazo", y acordaron "tomar medidas concretas para difundir entre sí los beneficios de la ciencia y tecnología, promoviendo el intercambio y el aprovechamiento de los conocimientos científicos". Somos nosotros, ahora, los llamados a elaborar los mecanismos que hagan realidad este posible.

"Poblad la tierra y sometedla". A nuestros pies duerme un mundo mineral. Nuestra ciencia y tecnología deben contribuir a despertar la naturaleza para enriquecer la vida del hombre de Latinoamérica. Neruda ha descrito la grandeza de esta tarea en estos hermosos versos de su Oda al Cobre:

Es hora
de dar el mineral
a los tractores,
a la fecundidad
de la tierra futura,
a la paz del sonido,
a la herramienta,
a la máquina clara
y a la vida.
Es hora
de dar
la huraña
mano abierta del cobre
a todo ser humano.
Por eso,
cobre,
serás nuestro,
no seguirán jugando
contigo
a los dados
los tahúres
de la carnicería!
De los cerros
abruptos,
de la altura
verde,
saldrá el cobre de Chile,
la cosecha
más dura
de mi pueblo,
la corola
incendiada,
irradiando

la vida
y no la muerte,
propagando la espiga
y no la sangre,
dando a todos los pueblos
nuestro amor
desenterrado,
nuestra montaña verde
que al contacto
de la vida y el viento
se transforma
en corazón sangrante,
en piedra roja.

THE EVOLUTION OF COPPER SMELTING PRACTICES IN THE LAST FOUR DECADES

Carlos Díaz - CIM Lecture (COM 2009, Sudbury, ON, Canada, August 25, 2009)

I extend my deepest appreciation to the Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum (CIM) for nominating me as one of the Institute 2008-2009 distinguished lecturers. Thanks are also due to Atlas Copco for supporting this CIM program, and to the 2009 Conference of Metallurgists (COM) organizers and the Nonferrous Pyrometallurgy Section of MetSoc for inviting me to present my lecture to you today.

In this lecture, I'll discuss the dramatic changes that have taken place in copper smelting during my professional life.

The venue of this conference provides a unique framework to honour once more the engineers and scientists who developed the Inco oxygen flash smelting process. On January 2, 1952, the start up of the copper flash furnace at the Copper Cliff Smelter signaled the advent of the oxygen age in nonferrous pyrometallurgy. The use of oxygen would eventually revolutionize base metals sulfide smelting practices.

Almost two decades later, Outokumpu substituted oxygen-enriched air for preheated air as the reacting gas in its own designed flash furnace. Oxygen-enriched air was also used as the reacting gas in the bath smelting processes that were developed in the 1970s, namely the Noranda Reactor in Canada, the Mitsubishi process in Japan, the Teniente Converter in Chile and the Vanyukov furnace in the former Soviet Union.

The Mitsubishi process became the first truly continuous copper smelting technology available to industry. The three-furnace line commercialized at Naoshima in 1974, included the first copper matte continuous converter.

Incidentally, the use of oxygen-enriched air in PS converters had been successfully tested at Copper Cliff by the late 1950s.

Besides the use of oxygen-enriched air or just tonnage oxygen as reacting gas, these new processes had the following common features:

- Utilization of the heat of reaction of the sulfide minerals of the feed, FeS in particular, to satisfy most, if not all, process heat requirements;
- High specific smelting rates;
- Production of high-grade matte; and

- Production of steady, low-volume, SO₂ strong process off-gas streams amenable to sulfur fixation in acid or sulfur dioxide liquefaction plants.

The explosive growth of industrial activity that followed the end of the II World War was regrettably accompanied by rapid environmental degradation. Governments reacted by imposing regulations on industrial practices, mining and ore processing among them. In 1971, in the USA, where 16 copper smelters were spewing SO₂ into the atmosphere, the Environmental Protection Agency set 90% smelter sulfur input capture as the new standard.

In addition, two successive big increases of the price of oil in the 1970s gave the kiss of death to the environmentally unfriendly and energy-intensive reverberatory furnace that, until then, had been the dominant copper smelting technology. Industry had no other option than to confront the environmental-energy challenge head-on.

Japan and Western Europe, where copper smelters were located in densely populated areas, responded earlier to this challenge. In the 1960s and 1970s, Outokumpu flash furnaces substituted for reverberatories in most of these plants.

The modernization of the American primary copper smelters began in earnest in the late 1970s and proceeded at full pace in the 1980s. Outokumpu and Inco flash furnaces, and Noranda Reactors were the technologies of choice. The modernized plants, most of them operating with a single primary smelting unit, had substantially larger capacities than the extinct multi-reverberatory smelters. The plants that could not justify the investment required to modernize were closed. The number of American smelters was reduced from 15 in 1981 to 8 in 1987.

In Chile, need to increase smelting capacity, urgency to reduce consumption of expensive imported oil, relatively low capital cost, and expediency in transferring locally developed technology contributed to the rapid substitution of Teniente converters for reverberatories in the state owned CODELCO and ENAMI smelters. However, strict environmental smelter standards would not be imposed until the 1990s.

As discussed earlier, Canada pioneered the commercialization of new technology. The Inco oxygen flash furnace had been operating at the Copper Cliff Smelter since 1952, and the Noranda Reactor at the Horne since 1973. Kidd Creek, a new copper smelter that started up in 1981, adopted Mitsubishi continuous smelting. Sulfur was being captured from various process gas streams at these smelters. However, the government "countdown acid rain program" mandated substantial additional reductions in nonferrous smelter emissions by 1994. Flash smelting of bulk copper-nickel concentrate was adopted at Copper Cliff and "roast reduction smelting" at Falconbridge.

In summary, in the early 1990s:

- There were a number of proven energy-efficient and environmentally sound flash and bath smelting alternatives and also a proven continuous converting process available to the copper smelting industry;
- Over 90% of smelter sulfur input was being captured in important copper producing regions of the world;

- The efficient utilization of the heat of reaction of concentrate sulfide minerals had resulted in a substantial decrease in CO₂ emissions.

Not surprisingly, in the last two decades, industry's R&D has mainly focused on productivity increase, a trend that had started in the mid 1980s.

These efforts led to a new industry standard: The primary copper smelter processing over ONE MILLION tonnes of concentrate per year through one single smelting furnace.

Outokumpu and its licensees led the way to this new standard. The key factors that contributed to increasing flash furnace capacity were:

- High O₂ enrichment of the reaction gas.
- Improved solids feed system and concentrate burner design.
- Water-cooling protection of furnace integrity.
- Advances in process modeling and control.
- Higher furnace operating factor.

The progressive increase of capacity of the Toyo flash furnace over the years is a good example in this regard. Published data show that its original throughput of 1,000 tonnes of dry concentrate per day, operating with just preheated air, increased to 3,600 tonnes by 2006, by enriching the reaction gas from just preheated air to 73 vol% oxygen. Simultaneously, the continuous upgrading of the solids feed system and of burner design led to improved furnace metallurgy, increased matte grade from 52% Cu to 65%, and substantially reduced dusting from 10% of dry solid charge to 3-4 %..

These achievements have been possible thanks to:

- The implementation by Sumitomo of a focused, long term - still on-going - program that has been carried out by researchers and operators working in close cooperation; and
- The judicious use of physical-mathematical modeling to improve burner design, with continuous validation and revision of model against pilot plant and commercial plant data, a practice preached by Frank Jorgensen and the late Julian Szekeley.

Another prominent copper smelting technology today is "top submerged lance" injection, TSL, in its two versions, Ausmelt and Isasmelt, both spin-offs of the original Sirosmelt technology. TSL is highly intensive and extremely versatile. Operation is possible within wide ranges of temperature and p_{O_2} , with wet/dry, fine/coarse solid feed. Both Ausmelt and Isasmelt have found increased application in copper smelting and converting in the last 15 years.

- Isasmelt was first adopted by Mount Isa for lead smelting in 1983. Following extensive pilot plant work, two Isasmelt copper smelting installations were almost simultaneously commissioned at Mount Isa and in Miami, Arizona, in 1992.
- In 2000, the upgraded Mount Isa furnace reached an annual concentrate throughput of over ONE MILLION tonnes.
- In 2006, the Ilo Smelter in Peru became the sixth copper smelter in the world to commission an Isasmelt furnace.

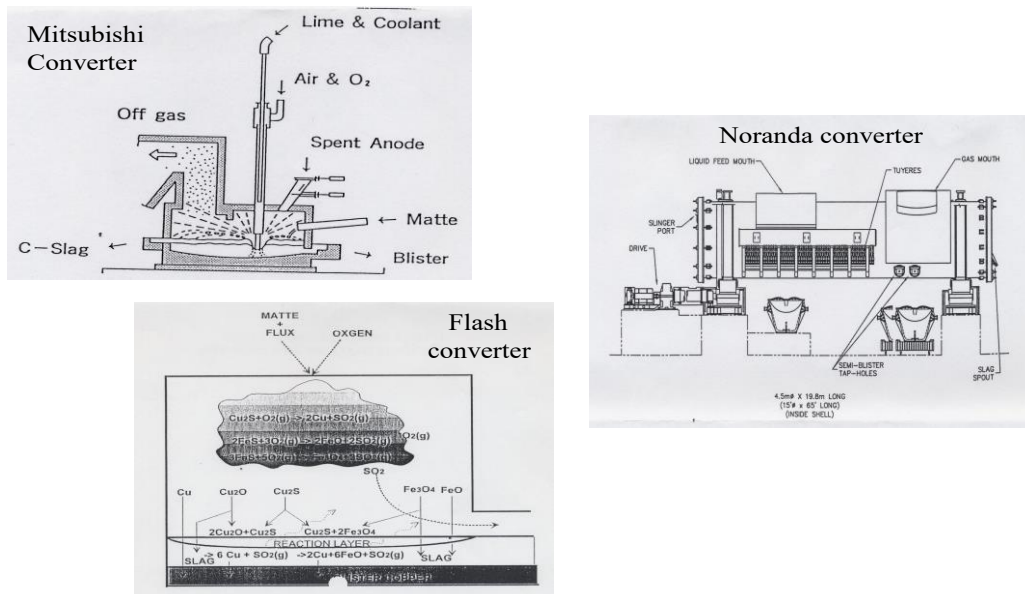
This quotation from a recent paper on Isasmelt, explains the secret of the success of this technology:

*“Improvements in process control, achieved over more than 13 years of operation at Mount Isa, have resulted in a highly advanced control system that ensures that refractory wear is minimized. This sort of development can only be achieved over many years in an **operations environment**”.* Just another example of the merits of developing technology in continuous, direct cooperation with operators!

In the last two decades, substantial advances have also been made in converting:

- Two new continuous converting processes were commercialized in the 1990s: Kennecott-OKO flash converting, and Noranda continuous converting.
- However, improvements in engineering and operating practice have helped the Peirce Smith Converter to continue being the dominant industry converting technology.

Sketches of the three commercially available copper continuous converters are presented in the figure below



- The feed to each of these vessels is high-grade matte containing 68-70% Cu. While the Mitsubishi converter is fed with a continuous stream of molten matte, this material is added in batches to the Noranda Converter. The flash converter is fed with dry, solid, finely comminuted matte.
- The degree of oxygen enrichment of the reacting gas decreases from about 80-85% in the flash converter to approximately 32% in the Mitsubishi converter and 27-29% in the Noranda converter.
- Three condensed phases are present in the Noranda Converter: sulfur-saturated copper, matte (essentially Cu₂S), and silica slag. Blowing is done through the matte layer. The three-phase equilibrium controls the oxygen partial pressure of the system

to a level that permits using silica flux. The converter product is sulfur-saturated copper or semiblisters.

- The flash and the Mitsubishi converters operate at higher oxygen partial pressure. There are only two condensed phases present in the converter, slag and blister copper. Lime-ferrite slag is used under these operating conditions.

Both Noranda and Mitsubishi accept solid reverts. But only the flash smelting/flash converting route has the potential for total decoupling of these two unit operations. Flash converting has the maximum proven throughput, but also the highest dusting rate.

In the last few years, both Ausmelt and Isasmelt have been developing copper continuous converting processes, called C3 and ISACONVERT respectively. The feed to either vessel will consist of granulated high-grade matte. While a lime-ferrite slag will be used in the ISACONVERT, an olivine slag has been chosen for conducting the C3 process.

Isasmelt has announced the future commissioning of an ISACONVERT vessel in the Mufulira Smelter in Zambia, where an Isasmelt furnace is already in operation. Commercial C3 trials were recently conducted at the Zhong Tiao Shang Smelter in China.

In Chile, Codelco has conducted commercial continuous converting tests in a modified Teniente Converter.

Although continuous conversion will be most likely adopted in future new smelters, and in expansions of existing smelters, the 100-year old PSC is standing its ground. The reasons are:

- It is a highly intensive, versatile pyrometallurgical reactor;
- Mechanized tuyere punching, oxygen enrichment of the blast, better refractories, computerized converting control techniques, improved converting practices, and higher primary smelting matte grades have led to substantial increases of converter productivity;
- Vented tapholes and tunnels for transferring melts, secondary and tertiary hooding plus improved practices have dramatically reduced secondary emissions;
- Blast oxygen enrichment, longer converter time in stack, and staggering of converters permit today feeding relatively steady, strong converter gases to acid plants.

In fact, Toyo in Japan and Nordeutsche Affinerie in Germany, that operate Peirce-Smith converters, are among the most environmentally sound copper smelters in the world today. In a recent expansion of Toyo, adding a new PSC was the choice for increasing smelter converting capacity.

Let's now briefly discuss the impact that technology has had on size of smelters and review the changing geography of world copper smelter output.

Data on the evolution of world copper smelter output as a function of smelter production capacity show that the total output of smelters with an annual production capacity over 200,000 tonnes increased from about 5% in 1975 to about 70% in 2005. Moreover, in

2005, about 20% of the world copper smelter output came from plants with production capacities in excess of 300,000 tpy.

Let's turn now our attention to the geography of smelting. The 1970s world recession had a profound impact on the industry, and world copper smelter output did not change much in the period 1975-85. In the same period, an even more dramatic change has occurred in world distribution of primary copper smelter output, that started to increase again in the mid 1980s. Following are comments on the evolution of annual smelter production in some traditional producing countries or regions in the last 20 years, starting in 1987, based on data from the US Geological Service:

- Primary copper smelter output increased in Chile, Europe and Japan, mainly as a consequence of smelter modernization and expansion.
- Canadian smelter output stayed practically constant throughout the whole period;
- In the USA, where there are only three operating smelters today, production dropped to about 0.5 million tonnes of copper per year.

The combined production of these traditional producers decreased from 58% of world copper smelter output in 1987 to 46% in 2007.

In the same 20-year period, Chinese primary copper smelter output experienced a sevenfold increase and Indian production went from almost negligible to 700,000 tonnes per year. In 2007, the combined production of these two countries represented almost a quarter of world primary copper smelter output. Data from the International Copper Study Group show that the Chinese production increased to about 2.5 million tonnes in 2008. Most probably, primary copper smelter output will continue increasing in the near future in both China and India.

I'll make two additional comments regarding this topic:

- In China, there are still old plants using blast and reverb furnaces for copper smelting. New smelters have adopted modern technologies, Noranda Reactor, OKO flash, Ausmelt and Isasmelt among them. Two years ago, a quasi replica of the Utah flash smelting-flash converting smelter was commissioned in China.
- Primary copper mine production in India is less than 30,000 tonnes per year. Although it is much bigger in China, it only amounts to about one third of the copper input to the country's smelters.

The present copper smelter outputs in these two countries show that a substantial proportion of primary copper moves across the oceans as concentrate, in particular from Latin American countries to Asia.

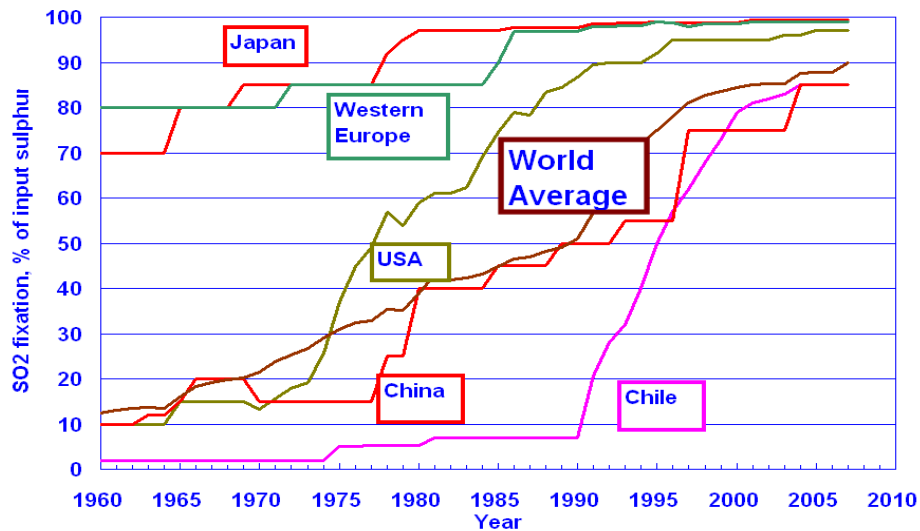
Technology has also helped to radically change the smoke stack image of the copper smelter industry. The graph on next page shows the big progress made in SO₂ fixation in the main smelter copper producing countries or regions of the world in the period 1960-2006.

- As already discussed, smelters in Japan and Western Europe had already achieved substantial capturing of SO₂ at the start of the period. This process intensified further with the adoption of flash smelting.

- As also discussed, in the USA, SO₂ capture from copper smelters started in earnest in the 1970s and continued in the 1980s. At present, the combined SO₂ capture of the three operating smelters is 98-99%.
- Chilean smelters started to move at a fast pace in the early 1990s, forced by environmental legislation. A simultaneous expansion of copper leaching operations in Chile created an important market for the sulfuric acid produced from treating smelter gases. The overall S fixation in Chilean copper smelters is today about 95%.
- In China, all the new smelters built in the last few decades have adopted new environmentally sound technologies. Their local industry provides a continuous expanding market for sulfuric acid. Not surprisingly, SO₂ capture from Chinese copper smelter gases has steadily increased starting in the mid 1970s.

The brown line in the graph shows the estimated increase of the average world SO₂ capture from copper smelter gases along the period of interest. This average is approaching 90%. With the commissioning of new TSL smelters in Latin America and in Africa, this sulfur fixation will increase even further.

Trend in SO₂ fixation 1960-2006



In my professional life, I have had the privilege of witnessing dramatic changes in my field of work. Today, copper smelting is close to achieving the status of sustainable technology. Work remains to be done. The important lesson to remember in future R&D endeavours is that, in the past, the most significant advances have been achieved with researchers and operators working in close co-operation.

Now, I will share with you Phillip Mackey's and my thoughts about the future

We believe that:

- The size of smelters will increase further. The average plant annual copper production capacity will reach about 300,000 tonnes.
- The proportion of large custom smelters will also increase. High smelter productivity is essential in this very competitive business.
- Flash smelting and TSL will compete for additional territory.
- New green-field smelters and probably expanded/modernized smelters will incorporate continuous converting.
- However, the Peirce-Smith converter will continue having an important place in many of the existing copper smelters.
- The 400 tonne anode furnace and 100 tph twin-wheel anode caster will become standard; inroads will be made towards continuous blister copper fire refining.
- Advanced process control and automation will be introduced in all areas of the smelter.
- In the next few years, average world SO₂ capture will exceed 95%.
- Improved physico-chemical models will be available to predict impurity behavior and control.

In summary, pyrometallurgical processes will continue having an important place in the production of copper from sulfide feeds in the foreseeable future.

I conclude by reiterating my thanks to Phillip Mackey, CIM, Atlas Copco, MetSoc and its Nonferrous Pyro Section.

Note: This lecture was mainly based on the following papers:

C. Díaz, H. Schwarze and J. Taylor. "The changing landscape of copper smelting in the Americas", COPPER 95-COBRE 95, Vol. IV, Pyrometallurgy of Copper, W.J. (Pete) Chen et al., Eds., MetSoc of CIM, Montreal, Québec, Canada, 1995, 3-28.

C.M. Díaz and P.J. Mackey. "The COPPER-COBRE series of conferences: A prime forum for active discussion of copper smelting technology practice and innovation", Copper 2007, Vol. III (Book I), The Carlos Díaz Symposium on Pyrometallurgy, A.E.M. Warner et al., eds., MetSoc of CIM, Montreal, Québec, Canada, 2007, 3-37.

ADDITIONAL COMMENTS

Energy

From P. Coursol, P.J. Mackey and C.M. Díaz, "Energy Consumption in Copper Sulphide Smelting", COPPER-COBRE 2010 International Conference, Hamburg, Germany, 2010, GDMB.

"Using thermochemical modeling and industrial data, energy consumption in copper sulphide concentrate smelting was calculated for the following processing routes: 1) Flash smelting + flash converting; 2) Isasmelt smelting + Peirce-Smith (PS) converting; 3) Mitsubishi continuous copper smelting and converting; and 4) Noranda/Teniente

continuous bath smelting + PS converting. For all routes, the battery limits of the exercise included value metals recovery from slag, heat recovery from process gas streams, and abatement of SO₂ from both process gas streams and secondary streams". "Interestingly, the results showed that the first three processes had similar energy requirements of about 11,000 MJ/tonne anode", while the Noranda/Teniente smelting process required 12,750 MJ/tonne anode.

"A comparison of the energy requirements of modern processes with those studied by H.H. Kellogg and J.M. Henderson in 1976, indicates that advances in technology and increased oxygen consumption have more than compensated for increased energy requirements to meet more stringent environmental standards. In Kellogg's and Henderson's study, process gases were treated in single-contact acid plant, while double-contact technology was used in the present study. The handling of secondary and fugitive gases, not an issue in the late 1970s, was also incorporated in this study". The Coursol, Mackey and Díaz work also indicated that "despite the environmentally driven demands on modern smelter operation and a substantial increase in oxygen consumption, their average electric energy requirement (processes 1-3) is not substantially higher than for similar processes studied by Kellogg and Henderson. What it is truly different is the much lower consumption of fossil fuel in modern smelters. Factors such as improved furnace design and operating practices, computerized process control, higher furnace feed throughput have certainly contributed to these achievements".

Energy requirements on a few industrial copper smelters have been recently published. Norbert Piret, a German metallurgist, reported a total energy requirement of 15,570 MJ/tonne of anode copper for a flash smelting/PS converting operation with an annual copper production capacity of 150,000 tonnes. Coursol, Mackey and Díaz's calculated number for a flash smelting/flash converting operation is significantly lower. In this regard, it should be noted that their smelting model reflects an "ideal operation". In real life, there are extra, sometimes unexpected, heating requirements (launders and ladles, maintaining furnaces hot during short partial or total smelter shut downs, melting of larger than normal amounts of reverbs, etc.). In addition, the model does not include maintenance energy requirements. "Nevertheless, the writers (Coursol et al) believe that results of studies such as the one they conducted contribute to better understanding processes and may assist in identifying unit operations that offer potential for improvement".

"Is there room for further energy savings in copper concentrate smelting? Recovering heat from a variety of combustion gases (anode furnaces, melt holding furnaces, etc.), a rare practice in smelters today, is an option. The corresponding decrease of greenhouse gas emissions may become an additional incentive for implementing these practices. New technological advances, such as the continuous copper fire refining process under investigation in Chile, also offer opportunities for energy savings. Possible new reductions in energy requirement for producing oxygen have been announced. In summary, it would not be surprising to see even more energy efficient smelters in the near future".

From Carlos Díaz, "Copper Sulphide Smelting: Past Achievements and Current Challenges". COPPER-COBRE 2010 plenary session paper.

In order to put the smelting energy requirement in the context of the chain of production of electro-refined (ER) copper cathode from ore, using available data on energy requirements for open pit mining and milling per tonne of ore, the author estimated mining and milling energy consumptions per tonne of ER cathode for an ore analyzing 0.75% Cu, assuming 90% and 97.5% metal recoveries in milling and smelting respectively. Although 0.75% is well below the current average grade of ore feeding Chilean mills, it is certainly above the average grade of ore mined elsewhere. The estimated mining and milling energy consumptions as well as those for smelting and refining are presented in the table below.

Energy consumption for producing ER copper cathode from ore (MJ/tonne of product)

	Electric energy fuel equivalent	Fossil fuel	Total	% of total energy
Mining	2,090 (220.6 kWh)	7,635	9,725	14.1
Milling	41,000 (4,328 kWh)		41,000	59.6
Smelting	8,650 (913 kWh)	4,670	13,320	19.4
Electrorefining	3,210 (339 kWh)	1,500	4,710	6.9
Total	54,950	13,805	68,755	100.0

The numbers in the table show that fuel consumption to generate electric energy is four times higher than the fuel directly consumed in mining (mostly Diesel) plus smelting and refining (heating fuel). Three quarters of the electric energy is consumed in milling. As expected, ore grades will further decrease in the future and the energy requirements for the first two stages in the chain of production of ER copper from ore, mining and milling, will go up accordingly.

The Changing Geography of Copper Smelting

From Carlos M. Díaz, "Copper Sulphide Smelting: Past Achievements and Current Challenges", COPPER-COBRE 2010 plenary session paper.

"The changing geography of copper smelting also deserves a few words. Over the last 20 years, the sustained expansion of copper smelting-refining operations in China and India has been progressively changing the role of the copper-rich South American countries to, mainly, that of concentrate suppliers. This process appears likely to continue in the near future. In the case of Chile, for instance, Cochilco anticipates that the country's copper production will increase from 5.4 million tonnes in 2009 to 7.4 million tonnes in 2020. During the same period, the proportion of Chilean copper exported as concentrate will increase from 35% to 53%. Is this course of events in the best interests of Chile and its people? Although, this is a legitimate question, the author understands that the answer requires in-depth analysis of an intricate set of economic, social, environmental, political and international trade factors. A simplistic approach to this question suggests that expanding its existing copper smelting-refining capacity is one option available to Chile to speed up its industrial development. It remains to be seen what type of action, if any, may be taken in the future by Chile and other primary copper-rich countries to increase the value of their copper exports and, even more importantly, decrease their current dependence on foreign smelting-refining capacity".

FROM EMPIRICAL TO SCIENCE-ENLIGHTENED PYROMETALLURGY

Carlos Díaz - Historical Metallurgy Talk at COM 2014

In early 2014, Dr. Sam Marcuson, the new chairman of MetSoc's Historical Metallurgy Committee asked me to discuss my memories on the substantial transformation that high temperature process metallurgy experienced following the end of World War II (WW II) at the 2014 COM Historical Metallurgy luncheon. My talk focussed on the achievements of members of a generation of outstanding high temperature process metallurgists, some of whom I had the privilege of befriending during the years that I was an academic at the University of Chile (1954 - 1975). The present paper is basically an edited version of my talk. The reader should be advised that, due to its limited scope, this paper does not pretend to constitute the history of the development of high temperature process metallurgy in the post WW II period. It is just a story. Anyway, I would suggest that history is often written by critically weaving many stories such as the one presented in this paper.

Prior to the end of World War II, there were attempts to elucidate the physical chemistry of metal extraction and to quantify relevant processes. Following are three examples: 1) In 1925, the Faraday Society held a General Discussion on the Physical Chemistry of Steelmaking. However, the hypotheses that were then advanced were not fully supported by experimental work; 2) In 1934, Hermann Schenck's book "Introduction to the physical chemistry of steelmaking", was published in Germany. An English translation became available a few years later, and British steelmakers began using it; and 3) A most welcome contribution to the quantitative treatment of extractive metallurgical processes was the second edition of "Metallurgical Problems" by Allison Butts, published in 1943. The book covered mass and heat balances in iron and steelmaking as well as in nonferrous and light metals extraction processes and included brief sections on heat transfer and chemical thermodynamics. Nevertheless, in the late 1930s, extractive metallurgy was essentially an empirical discipline. This situation would steadily change, starting in the mid-1940s.

In 1948, the Faraday Society held a second round of Discussions on the Physical Chemistry of Process Metallurgy. The meeting was attended by members of groups that were already actively involved in research on relevant topics in Europe and North America, and by industry representatives. In his introductory address, Sir Andrew McCance, a prominent British steel industry leader, commented: "The ideas put forward at this meeting are supported by a wealth of experimental results, whereas the papers presented at the 1925 Discussions were rich in unconfirmed theoretical deductions". On the industrial relevance of fundamental research, McCance said: "The developments in the open-hearth process in the last 20 years have largely, if not wholly, arisen from the physico-chemical approach to the open-hearth reactions — an approach which has now become the universal practice of all those engaged in this branch of steel manufacture. But we are still far from exercising that exact quantitative control (of the process) which must be the ultimate aim." Sir Charles Goodeve, Director of the British Iron and Steel Research Association, in his keynote paper, entitled "Physico Chemical Principles in Process Metallurgy", suggested that his fellow scientists, should communicate their

ideas to industry in simple terms "to show the relevance of their application to the types of chemical reactions of mutual concern".

Following the end of World War II, iron and steel companies in the UK and in France realized that there were numerous advantages to mutual cooperation in R&D. In the UK, the British Iron & Steel Research Association (BISRA) was established in 1944. The industrial players decided that BISRA would focus on problems of common interest for the partners and on which they were willing to pool their expertise. The first Director of BISRA was Charles Goodeve, who held the position until 1969.

Who was Charles Goodeve? He was a Canadian prairie boy. In 1927, upon completing a M.Sc. in chemistry and physics in the University of Manitoba, he crossed the Atlantic to complete his graduate studies and pursue a distinguished academic career in physical chemistry at the University College. He was elected Fellow of the Royal Society (FRS) at a very young age. During World War II, in his double capacity as eminent scientist and lieutenant commander of the Royal Navy Volunteer Reserve, he was asked to lead a weapons R&D group that was later known as the Royal Navy's Department of Miscellaneous Weapons Development. The group made outstanding contributions to anti-aircraft and anti-submarine weaponry. At the end of the war, Goodeve was awarded an Order of the British Empire (OBE) and created a Knight Bachelor in recognition of his leadership, political savvy, managerial skills and talent for innovation. This was the calibre of the man who headed BISRA from 1944 till 1969.



Charles Goodeve



F. Denys Richardson

A most important character in this story is Frederick Denys Richardson. He met Goodeve as an undergraduate chemistry student at the University College. As one of his graduate students, Richardson initiated a lifelong work relationship and friendship with him. In 1939, Richardson joined Goodeve's Royal Navy Miscellaneous Weapons Development group and, eventually, became his deputy. At the end of the war, Richardson accepted Goodeve's invitation to build up the Chemistry Department of BISRA. To this end, he started research relationships with various universities. Following are two examples of his early BISRA projects: 1) The application of much improved Ellingham diagrams, covering not only oxides and sulphides, but also carbides and silicates to the study of iron blast furnace shaft and hearth chemical equilibrium at various temperatures. This work constituted one of the earliest serious applications of physical chemistry and thermodynamics to a complex pyrometallurgical process. A key participant in this study was Dr. J.H.E. (Jim) Jeffes, another former member of the Navy's Miscellaneous Weapons Development group; and 2) Research on the viscosity

and electrical conductivity of liquid slags and the C-S interaction in liquid iron was conducted in the Chemistry Department of Imperial College under the supervision of Drs. J.A. Kitchener and J. O'M. Bockris.

In 1950, using a five year Nuffield Foundation Fellowship at Imperial College, Richardson moved from industry to academia. He was followed by a few BISRA scientists, Jim Jeffes and Ben Alcock among them, with Goodeve's full support. The new Imperial College research group was named the Nuffield Research Group in Extraction Metallurgy. With initially limited resources, only resistance furnaces were available to investigate melt/gas equilibrium under precisely controlled temperature and gas composition conditions. Techniques were developed that would permit using gram-size amount of melts, an absolute novelty in the study of high temperature process metallurgy topics at that time. The quality of the work done by the Nuffield Group was rapidly recognized. Industrial and British Science Research Council financial support was obtained. More students joined the group, including some from overseas, me included in 1964.

In just a few years, the Nuffield Group became the world's leading high temperature chemical process metallurgy research school. By the early 1960s, the group had made substantial contributions to the understanding of the nature of metals, slag and salt melts. Richardson decided, then, that the time had come to initiate work to gain a similar understanding of the factors controlling the rate of processes. His thinking was that, besides chemical kinetics, the rate of mass transfer of reactants and products to and from interfaces where chemical reactions took place were important factors. His efforts led to the establishment of the "John Percy Research Group", with a focus on the kinetics of extractive metallurgical processes. The name honoured the memory of the late John Percy, the first professor of metallurgy in the UK. The new group was led by Professor Anthony Bradshaw.

Denys Richardson's book on "The physical chemistry of melts in metallurgy", published in 1974, is still recognized as a most important work on this subject. A number of former academics and graduates from both the Nuffield and the John Percy Research Groups, Ben Alcock, Keith Brimacombe, Bill Davenport, Rod Guthrie, Ray Meadowcroft, David Robertson, Ram Sridhar, Julian Szekely among them, have been instrumental in advancing chemical process metallurgy in Canada and the USA.

In 1968, I hosted Prof. Richardson's and his wife Irene's visit to my native country, Chile. For two weeks, we traveled from Chile's paradisiacal southern rivers and lakes, where I learned from Denys all I know about fishing, through wineries and copper smelters close to Santiago, and to a famous primary copper operation, Chuquicamata, located in one of the most arid regions of the world. In the various meetings that took place at Chilean copper smelters, Prof. Richardson followed the local metallurgists' presentations with deep interest, making most valuable comments.

In retrospect, I believe that the highlight of his Chilean tour-de-force was Richardson's radiant smile when he read the wire delivered to him at breakfast time in a Santiago hotel, with news that the previous day he had been elected Fellow of the Royal Society.

Let's come now to North America's east coast. A most distinguished contributor to the success of the 1948 Faraday Society Discussions was Prof. John Chipman. As Charles Goodeve recognized in one solemn occasion: "In 1946, John Chipman was the oracle

on the physical chemistry of process metallurgy, and scientists came from all over the world to MIT to learn at his feet... and he had much to teach". Chipman joined MIT as professor of process metallurgy in 1937. He had earned a PhD in physical chemistry at the University of California in 1926. In the late 1920s and early 1930s he taught and did research at Georgia School of Technology and the University of Michigan. From 1934 to 1937, he was Associate Director of Research at the American Rolling Mill Co. (later Armco Steel Corporation). In Chipman's portrait included in the 1962 Chipman Conference volume, MIT Prof. Nicholas J. Grant, referring to his Armco industrial experience, wrote: "This was his first real taste of steelmaking, via physical chemistry, and the fascination for liquid iron and steel never did wear off".



John Chipman

At MIT, the main focus of Chipman's research was the thermodynamic properties of melts encountered in iron and steelmaking, and the corresponding process gas/molten bath and metal/slag equilibria. In 1942, a year that Denys Richardson later called a "vintage year at MIT", Chipman elucidated the carbon-oxygen equilibrium in liquid iron and determined the pattern of FeO activity in the CaO-FeO-SiO_2 system. In fact, he pioneered the application of the concept of activity to the study of iron and steelmaking slags. One of Chipman's ongoing projects aimed at determining the chemical interaction of a variety of solutes with oxygen and sulfur in liquid iron. He expressed his observations mathematically by using the so-called "interaction parameter", ϵ , that had been introduced by Prof. Carl Wagner in Germany. Chipman also published papers on experimental methods in high temperature chemistry and on engineering education.

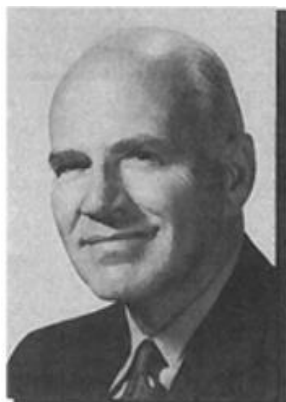
From 1943 to 1946, John Chipman was Chief of Metallurgy of the Manhattan Project. In this capacity, he was responsible for the stable supply of quality uranium.

Prof. Chipman was Head of the Department of Metallurgy of MIT from 1946 till his retirement in 1962. Other worldwide renowned process metallurgists were members of the Department during this period, in particular John Elliott and Reinhardt Schuhmann Jr.

As an academic from an overseas university, during my doctoral studies at the Imperial College (1964-1967), I was enjoying a private office. I felt extremely fortunate the day I was asked to share my office with Prof. John Elliott, who was coming to the Nuffield

Group using a six month sabbatical from MIT. Since we first met, we established a very cordial relationship. John came across as a true "gentleman and a scholar".

John Elliott had joined the MIT faculty in 1955. In his over 35 years as an academic, he wrote more than 200 scientific and technical papers, covering a broad variety of topics relating mainly to iron and steelmaking, such as process chemical equilibria, reaction kinetics, process modeling, industry economics and sustainability. He edited four volumes on the thermodynamics of iron and steelmaking, and he championed the need for innovative processes. John Elliott also served as Director of the Mining and Mineral Resources Research Institute of MIT. He kindly wrote the foreword to my monograph on copper smelting slags that was published by the International Copper Research Association in 1974.



John Elliott



Reinhardt Schuhmann

After obtaining a Sc.D. degree in metallurgy from MIT in 1938, Reinhardt Schuhmann Jr. became an MIT academic. In 1954, he moved to Purdue University as Professor of Metallurgical Engineering. He retired from Purdue in 1984 as Distinguished Professor Emeritus. Most of Schuhmann's research in his MIT years focussed on mineral dressing. However, in the early 1950s, starting with "A survey on the thermodynamics of copper smelting", his research turned to copper pyrometallurgical topics such as "Sulfur activities in liquid copper sulfides" and "Thermodynamics of iron silicate slags". He continued this line of research after moving to Purdue. His paper on "Measurement, interpretation and control of oxygen activity in pyrometallurgical processes" was a major contribution to explaining the importance of this operating parameter to plant metallurgists. In his text "Metallurgical Engineering", published in 1952, he revolutionized the traditional teaching of this subject by organizing it according to basic principles and unit processes. I used Schuhmann's book extensively in my teaching at the University of Chile.

I met Prof. Schuhmann in Chile in the early 1960s. He was visiting the country as member of a US National Academy of Engineering delegation that was exploring possible areas of cooperation with local universities. We took the opportunity to discuss pyrometallurgical topics of common interest, such as copper slag losses, and the teaching of extractive metallurgy.

I completed my chemical process metallurgy studies at the University of Chile in 1954. A new university president, a historian, who had launched an ambitious modernization project of engineering at the university, recruited a few members of my class, me

included, to spearhead the development of stable academic research groups in various areas of engineering. Our first assignment was to undertake graduate studies in our respective fields of interest in foreign universities that were showing leadership in these fields. With a Fulbright scholarship in my pocket and my bride of just two weeks by my side, I flew to New York in September 1956 to register as a graduate student at Columbia University. My supervisor and counsellor, Prof. Herbert Kellogg, was a young and enthusiastic academic who had joined the university in 1946. In just a few years, he became well known for his research on mineral flotation and for his pioneering studies on potential halide extractive metallurgical processes. In later years, his research focussed on the extractive metallurgy of base metals Cu, Ni, Pb, Zn. In my opinion, one of Kellogg's most important contributions in this area was the application of chemical thermodynamics to the modelling of processes. His papers on Zn slag fuming (1967) and the path of conversion of nickel matte (1987) were of great value to industry, and a pioneering example of application of basic knowledge to metallurgical processes. Herb Kellogg was a great champion of the environment and of energy conservation. Three of his former students — Charles O'Neill, Stuart Warner and Sam Marcuson — served as Vice Presidents of R&D at Inco Limited and Vale's nickel operations.



Herbert H. Kellogg

I have fond memories of my Columbia days. The periodic cleanup of the lab by the students, led by the "prof", was my first practical lesson on team work. Kellogg visited Chile in 1973, on the occasion of a Latin American Conference on Mining and Extractive Metallurgy. This conference was attended by worldwide reputed academic and industrial pyrometallurgists. At a panel discussion on new copper smelting processes that he chaired, Herb Kellogg commented: "I just wonder how many of you realize how fortunate you are to be attending a meeting where you are discussing four new copper smelting processes. I have been attending meetings on extractive metallurgy for more than thirty years. There would be new ways of heating reverbs or new converter punching techniques, but nothing in the way of radically new processes. At the risk of being shot some dark night by my colleagues from industry, I would like to point out that the state of affairs that we now have holds great interest and excitement". At the time, Herb Kellogg's words were indeed very prophetic.

I have had the privilege of enjoying Herb and Jeanette Kellogg's friendship for almost 60 years. Herb is turning 95 in 2015.

As in the United Kingdom, the flourishing of research and teaching in high temperature process metallurgy in North American universities in the post WW II years was accompanied by a parallel local industrial research effort, triggered by high metals demand. In his paper "Process Research in the Americas", presented to the Elliott Symposium on Chemical Process Metallurgy, Ray Meadowcroft reminded us that, in the late 1940s: "In the ferrous industry, a number of companies built research laboratories". Although the emphasis was on pilot plant facilities, a few of these labs conducted basic research. A notable example, in this regard, was the US Steel Fundamental Research lab, where Lawrence Darken and Robert Gurry devoted many years to the study of the physical chemistry of steelmaking. Their book on Physical Chemistry of Metals, published in 1953, was most favourably reviewed by John Chipman and adopted as text by academics throughout the world. In this cooperative climate, as Meadowcroft further commented: "The American Iron and Steel Institute, both alone and in concert with individual steel companies, sponsored a broad range of process research activities in universities". Similar developments occurred in the base metals industry,

The first moral of my story is that vigorous and high quality academic activity in extractive metallurgy and related disciplines requires a concerted effort of academia and industry. In my opinion, an active exchange of ideas between academics working in technological disciplines with relevant industrial counterparts is most helpful in planning meaningful research and teaching projects.

The second moral is that the leadership of visionary, critical, creative, inspirational and politically savvy individuals is essential to build up stable research and teaching schools in this discipline. The heroes of my story are excellent role models in this regard.

Early in my story, I wrote that in the 1948 Faraday Society Discussions, Sir Andrew McCance had enthusiastically emphasized the industrial benefits of basic research. But, years later, not so enthusiastic opinions on this matter were advanced. Following are quotations from discussions held on this topic at the 1956 Physical Chemistry of Steelmaking conference:

- D.J.O. Brandt (English metallurgist) - "Physical Chemistry of steelmaking is like a sacred cow, that must be fed even if she gives no milk".
- B.M. Larsen (E.C. Bain Research Laboratory, US Steel) - "... and although more recent years have seen a very rapid development in the science, the art is now also changing more rapidly, and we still seem to lag behind the largely empirical development of actual steelmaking practices".
- K.L. Fethers (Youngstown Sheet and Tube Co.) - "It is my opinion that one of the most important products of physical chemistry research is this trained manpower to serve as steelworks intermediaries (Prof. Hermann Schenck's expression to refer to individuals who would translate scientific knowledge to steelworker's language)".

The latter comment appears to indicate that academics do not always follow the wise advice offered by Sir Charles Goodeve to his fellow scientists in 1948, about communicating their ideas to industry in simple terms "to show the relevance of their application to the types of chemical reactions of mutual concern".

I fully agree with Dr. Fethers and Prof. Schenck's thoughts regarding the role played by research in universities in developing graduates with the skills required by industry to successfully overcome present and future challenges. I finish my story, then, quoting

relevant words of Tiff Macklem, dean of the Rothman School of Business of the University of Toronto and former senior deputy governor of the Bank of Canada, taken from a 2014 Canada Day Toronto Star interview: "... the most important thing students can learn in university is how to think creatively, how to be innovative, how to work collaboratively as a team". In my view, this goal can only be achieved in an active research environment.

Acknowledgements

In preparing my 2014 COM Historical Metallurgy talk, I borrowed extensively from biographies and tributes written on the characters of my story, in particular the C. Goodeve and F.D. Richardson biographies written for the Royal Society by respectively F.D. Richardson and J.H.E. Jeffes.

DEVELOPMENT OF THE EL TENIENTE CONVERTER TECHNOLOGY

Hermann Schwarze, Juan Achurra, Carlos Díaz

Presented at COPPER-COBRE 2003



HERMANN SCHWARZE DINTRANS

Abstract

In the late 1960s, El Teniente undertook a mine-mill-smelter expansion program with a production target of 254,000 tonnes of copper per year. The expected increase in smelting capacity, based on concentrate oxygen smelting in Peirce-Smith converters, was never achieved, and the smelter became a production bottleneck. Even after the commissioning of a new 100% oxy-oil burner fired reverberatory furnace in 1975, the required smelting capacity was not attained, and the smelter personnel decided to revisit oxygen smelting of concentrate in converters, this time as a continuous operation. The result was the development of the El Teniente Converter technology. Over the years, this technology has undergone continuous improvement. It has been adopted not only in most Chilean smelters, but also in smelters in Mexico, Peru, Thailand (under construction) and Zambia.

This paper discusses the historical context and the driving forces that influenced the development and rapid adoption of this technology in Chile. Among these factors were the drive toward increased smelting capacity, an urgent need to reduce consumption of expensive imported oil, the relatively low capital cost of the El Teniente route, and the expediency in transferring the technology.

Historical background

After the 1971 nationalization of Chile's big copper mines by the administration of President Allende, new management took charge at El Teniente. Following an in-depth

study of the actual capacity of the smelter, they decided to build a third reverberatory furnace that would be fed with green concentrate, while the other two reverbs would continue to be fed with calcine. However, concentrate oxygen smelting in the converters was not abandoned. With the technical assistance of personnel from the Hitachi smelter, this practice was reinitiated in early 1972 on an experimental basis. The idea was that, upon commissioning of the new green fed reverb, this furnace would provide the seed matte for concentrate smelting in the converters.

More importantly, management also decided to form a smelter R&D group. This group was given responsibility for developing or adapting new technology to achieve the desired production target, and for designing and implementing a continuous improvement program that would optimize the operation of the smelter. This was the first group of its nature established in a Chilean mining and metallurgical operation.

Test work was initiated in 1972 on the use of oxygen in one of the calcine-fed reverberatory furnaces. The threefold increase in oil prices in 1973 became an additional driving force to find effective and efficient ways of using the oxygen from the existing plant not only to improve the productivity of the available smelting units but also to reduce consumption of expensive imported fuel. Commissioning of the green-fed reverberatory in 1974 allowed intensification of this test work. Oxy-oil burners, designed and built at El Teniente, were mounted through the roof of the new furnace. For a short time, the furnace was fired with a combination of conventional front-end burners and oxy-fuel burners. By mid 1975, the No. 3 Caletones reverb was operating with 100% oxy-oil burners. Furnace throughput more than doubled, oil consumption per tonne of dry solid charge was reduced by almost 60%, and the off-gas strength increased to 6–8 vol% SO₂ due a drastic decrease in volume. In 1976, all roasters were shut down. Changes in materials handling and in converter operating practice were made to accommodate the higher reverb production rate. Converter productivity increased. However, these improvements were still insufficient to reach the annual production target of 254,000 tonnes of copper.

The oxy-fuel fired reverb technology developed at El Teniente found acceptance outside Chile. CODELCO transferred this technology to Zambia Consolidated Copper Mines to be applied at its Nkana smelter. In Canada, oxy-fuel reverberatories were temporarily operated by Inco at its Copper Cliff Smelter and by Noranda at the Horne Smelter. Centromin in Perú adopted the same technology to convert the La Oroya Smelter from a two-to-one reverberatory operation while maintaining production.

The International Scene

In the early 1970s, the dominant copper smelting technology in the Americas consisted of concentrate or calcine smelting in reverberatory furnaces. Inco's oxygen flash smelting process, commercialized at the Copper Cliff smelter in 1952, was the single notable exception. In Canada, Noranda was piloting a continuous bath smelting process for the direct production of blister copper from concentrates. However, in Western Europe and Japan, new stringent, health-based environmental standards had already forced the copper industry to abandon reverb smelting. In these countries, Outokumpu flash smelting, also commercialized in the early 1950s, had become the technology of choice for new smelters and replacement of reverberatory furnaces.

The Chilean metallurgical community was in touch with these developments. As already mentioned, in the 1960s, Chilean universities had developed stable links with prestigious

academic institutions in Canada, the USA and Western Europe, and nationalization in the early 1970s opened the Chilean copper industry to the outside world. In August 1973, Santiago, Chile's capital city, was the venue of a Latin American Congress of Mining and Extractive Metallurgy. The developers of most of the new flash and bath smelting processes presented papers on their technologies. At this meeting, Prof. H.H. Kellogg made the following comments:

"I just wonder how many of you realize how fortunate you are to be sitting at a meeting where you are discussing four new smelting processes for copper (Mitsubishi, Noranda, Outokumpu, Worcra). I have been attending meetings on extractive metallurgy for more than thirty years and this is a very recent phenomenon, I can assure you. Year after year would pass and we would hear very little new; there would be new ways of heating reverberatories or new ways of punching converters, but nothing new in the way of radically new process designs. At the risk of being shot some dark night by my colleagues from industry, I would like to point out that I think that the state of affairs we have now holds great interest and excitement".

The young Chilean metallurgists responsible for operating the nationalized copper smelters were very much inspired by this climate of innovation.

Development of the el Teniente Converter

On September 11, 1973, the Chilean armed forces overthrew the government of President Allende and installed a military regime that was to rule Chile for seventeen years. During the Allende administration, the social fabric of the country had been severely damaged. The population was deeply polarized between supporters and opponents of the government. Not a single sector of the economy was unaffected, including the nationalized copper industry. Hermann Schwarze, one of the current authors, depicted these years at the Calteones smelter as a "period of reflection". With the return of discipline to the workplace, following the military coup, the technical personnel were able to focus entirely on solving outstanding technical problems. Most regrettably, some of the members of the Calteones Smelter R&D group had to shoulder the cost of supporting the overthrown administration and were let go.

As previously mentioned, the failure of the Kennecott concentrate oxygen smelting technology did not lead to the abandonment of this concept. Commercial test work was reinitiated in 1972, using the technology developed at the Hitachi smelter in Japan. Simultaneously, the newly formed Calteones R&D team started to consider the possibility of developing a continuous smelting-converting process that could be practiced in a modified Peirce-Smith converter. A pilot plant was built adjacent to the smelter to investigate this option. A 2m diameter, 6.1m long shell was adapted for the test work which began in September, 1974.

Various converter configurations and modes of operation were tested during 1974–1976. White metal and blister copper were produced. Continuous smelting-converting test work was also done in one of the commercial Peirce-Smith converters. There were many bright but also numerous dark days. Overall, progress was made and in-depth knowledge of the metallurgy of the continuous smelting-converting process was gained. The success of the operation of the oxy-oil fired reverb had given confidence to the

Caletones R&D group that hard work on this new project would eventually pay a handsome dividend.

By mid 1976, the smelter management was faced with a need to rebuild some of the old Peirce-Smith converters. The continuous smelter-converter development team seized the opportunity and recommended replacing two of the old converters with a modified converter that could be used to commercialize the new technology. The continuous vessel would be fed with wet concentrate (about 8% moisture) and seed reverb matte. Cashing on the trust that they had gained, the R&D group had little difficulty in convincing management of the soundness of their proposal. Nevertheless, caution suggested that the project be undertaken in a very low-key fashion. The order for the new 4m diameter, 18m long converter was treated as replacement of decaying equipment. Should the new technology fail for any reason, the vessel could still be used for conventional batch conversion. Unfortunately, due to construction constraints, only air would be available at the site for the commissioning of the modified converter. Therefore, a relatively high seed matte to concentrate ratio would initially be required. Based on the metallurgical knowledge acquired in the pilot plant, it was decided that the product of continuous smelting-converting would be white metal.

The new vessel was commissioned on January 10, 1977. The converter, operating with plain air, reached metallurgical stability in a very short time. The first campaign lasted 109 days, and in the last month, daily throughput of dry concentrate and matte reached 464 and 515 tonnes respectively. After changes to the dry feeding system, an operational bottleneck during the first campaign, a second 211-day campaign was carried out. Throughput increased to 611 and 550 tonnes/day of matte and dry concentrate respectively. The technology was considered commercially proven. A second 4m diameter, 18m long El Teniente converter was commissioned in April 1978. The Caletones smelter ceased to be the El Teniente production bottleneck.

The Driving Forces

The successful development and commercialization of the El Teniente Converter technology was the result of the powerful combination of having **the right people at the right place at the right time**. This statement deserves elaboration.

The right people: As previously mentioned, the mining and metallurgical engineering departments of some of the Chilean universities had undergone a profound modernization in the late 1950s and early 1960s. As a result, the professionals graduating in the mid and late 1960s had a sound scientific and technical background, analytical skills and the ability to integrate knowledge from different disciplines to creatively address complex technical problems. As students, they had been nurtured in an environment that promoted social, political and technical change. Innovation was very much part of Chilean culture in the 1960s. In addition, idealism was an essential element of the young people's way of thinking. They could be highly motivated, especially when the challenge to be confronted had an historical dimension.

The right place: In the early 1970s, none of the mines or plants of the big Chilean copper operations had such a big technical problem as the Caletones Smelter. Huge amounts had been spent in expanding production at El Teniente to no avail. The Caletones Smelter production bottleneck had to be solved in the shortest possible time and at the lowest possible additional capital expenditure in a very disruptive social and

political climate. The magnitude of the technical challenge would become one of the most powerful incentives for intense thinking and bold acting.

The right time: The chileanization and subsequent nationalization of the major copper mines gave the Caletones technical problem a unique historical dimension. Finding a solution became a matter of national pride. The nationalization of the industry and, later, the military coup caused an exodus of professionals that put young graduates right on the front line of technical responsibility. Successive management teams at El Teniente had more pressing problems in their hands; they had no option but to trust their technical personnel. In R&D, there was ample room for testing and implementing new ideas. At the time, for young scientists and engineers, these were indeed rare opportunities.

There were of course other factors that contributed to a positive environment at Caletones. In 1970, by creating the Mining and Metallurgical Research Centre (Centro de Investigación Minera y Metalúrgica - CIMM), the administration of President Frei made it clear that the technical future of the chileanized copper industry would be entrusted to Chileans. As already mentioned, the nationalization in the early 1970s opened the Chilean industry to the outside world. The professionals of the copper industry became part of the international mining and metallurgical community and were able to visit foreign operations and research facilities at, as Herb Kellogg said, a “very interesting and exciting time”. Young Chilean engineers were breathing an air of innovation.

The legacy of the development of the El Teniente Converter

Following the successful commercialization of the El Teniente Converter at the Caletones Smelter, the technology was adopted by the other CODELCO smelters and also by the two smelters operated by ENAMI (See Table 1). The sole exception to this trend was the installation of an Outokumpu flash furnace at Chuquicamata in 1988. At the time that this decision was made, the proven smelting capacity of the El Teniente converter was only about half the capacity of the flash furnace.

Table 1 - Development of The El Teniente Converter Technology

Year	Location	Development
1974–1976	Caletones (CODELCO)	Piloting of the technology
1977	Caletones	Commissioning of 1 st 4x18 m TC
1977	Caletones	Oxygen enrichment of the blast
1978	Caletones	Commissioning of 2 nd 4x18 m TC
1984	Caletones	Piloting of dry concentrate tuyere injection
1984	Chuquicamata (CODELCO)	Commissioning of 1 st 4x18 TC
1984	Ventanas (ENAMI)	Commissioning of 4x15 m TC
1985	Potrerrillos (CODELCO)	Commissioning of 4x18 m TC
1987	Potrerrillos	Practice of concentrate tuyere injection
1987	Caletones	One 4x18 m TC replaced by a 5x22 m TC
1988	Caletones	Concentrate injection in 5x22 m TC
1989	Caletones	2 nd 4x18 m TC replaced by a 5x22m TC
1991	Chuquicamata	One 4x18 m TC replaced by a 5x22 m TC
1991	Caletones	Autogenous smelting (no seed matte)
1993	Chuquicamata	2 nd 4x18 m TC replaced by a 5x22 m TC

1993	Caletones	Practice of concentrate injection in both TCs
1993	H. Videla Lira (ENAMI)	Commissioning of 3.8x14.9 m TC
1998	Ventanas & H. Videla Lira	TC becomes the sole primary smelting unit

Several factors combined to speed up the adoption of the El Teniente Converter at the other CODELCO smelters:

- The need to increase smelting capacity to accommodate larger tonnages of concentrate due to a steadily declining grade, from about 40% copper in the mid 1970s to about 30% in the mid 1990s. In the same period, CODELCO's annual concentrate smelting capacity more than doubled from 1.5 to 3.3 million tonnes, while smelter copper production increased only by about 37%.
- The urgent need to reduce consumption of expensive imported oil. The 1973 threefold increase in the price of oil was followed by another steep rise in the late 1970s.
- The low capital cost of the El Teniente Converter compared to alternative modern smelting technologies.
- The transfer of the technology was enhanced by several factors such as the mechanical similarity between the El Teniente Converter and the Peirce-Smith converter; the common culture between the developers and the new users of the technology; the possibility of training personnel in Chile, avoiding costly travel and communications problems; the lack of lengthy and cumbersome technology transfer negotiations; and last, but not least, the "IH (invented here) factor".

Some of the same reasons led to the adoption of the technology at the ENAMI smelters.

With the development of the El Teniente Converter, a culture of innovation grew deep roots in the Chilean metallurgical community, particularly within Codelco. Management learned and has seldom forgotten the importance of R&D as an integral element of business strategy. Engineers realized that the development of technology is not necessarily the patrimony of industrialized societies. Over the years, thanks to a sustained continuous improvement effort, the practice of concentrate oxygen smelting in El Teniente converters has evolved into an autogenous process requiring no primary smelting matte. At present, CODELCO's Caletones and Potrerillos smelters and the two ENAMI smelters operate with El Teniente converters as the sole primary smelting units. Injection through tuyeres is today the standard way of feeding dry concentrate. On a routine basis, a modern 5 x 22 m El Teniente converter can process over 2,000 dry tonnes of concentrate per day to produce white metal analyzing about 75% copper.

The implementation and continuous improvement of the El Teniente Converter technology in the state owned smelters has been instrumental in permitting increased, cost-efficient capture of SO₂ emissions, and compliance with the new stringent Chilean environmental regulations.

In the 1990s, the El Teniente Converter was retrofitted into three smelters outside Chile, Nkana in Zambia in 1994, Ilo in Peru in 1995 and La Caridad in Mexico in 1997, thus marking the internationalization of the technology. Another Teniente Converter will become the sole primary smelting unit in the Rayong greenfield copper smelter, currently under construction in Thailand.

Original paper: Hermann Schwarze, Juan Achurra and Carlos Díaz, "Development of the El Teniente Converter technology", COPPER 2003-COBRE 2003, Vol. IV, Pyrometallurgy of Copper (Book 2), The Hermann Schwarze Symposium on Copper Pirometallurgy, ed. by C. Díaz, C. Landolt and T. Utigard, MetSoc of CIM, Montreal, Canada, 2003, 3-12.

SOCIEDADES PROFESIONALES

PROFESSIONAL SOCIETIES

PALABRAS DE CARLOS DIAZ AL RECIBIR LA MEDALLA AL MERITO
DEL INSTITUTO DE INGENIEROS DE MINAS DE CHILE (1985)

Esta es para mí una noche de gran alegría. Celebro un episodio de singular importancia en la relación ininterrumpida de afecto mutuo que me ha unido al Instituto de Ingenieros de Minas, desde que me incorporé a él siendo yo aún estudiante universitario. Porque debo confesarles que, al buscar una explicación a la decisión del Instituto de honrarme este año con la Medalla al Mérito, sólo pude encontrarla en un acrecentamiento misterioso del afecto con que ustedes siempre me distinguieron, por encima de las barreras naturales levantadas por la distancia y el tiempo. Y que dulce es el sabor del amor correspondido. Es por esa razón, que esta medalla se incorporará a esa pequeña colección de objetos que atesoro por su profundo y sagrado significado sentimental y espiritual.

Yo también los he tenido presente a lo largo de estos últimos años. Dice Antoine de St. Exupery por boca del Principito: " Es triste olvidar a un amigo. No todos han tenido un amigo". Palabras simples, sencillas, pero que nos hablan de lo que es esencial en nuestra vida de relación con nuestros semejantes. Yo he tenido la dicha de tener muchos y muy buenos amigos a lo largo de mi vida, gran parte de los cuales están hoy día en torno a esta mesa; colegas de tantos años, compañeros en actividades gremiales, varias generaciones de ex-alumnos. En verdad les digo, que mi afecto por ustedes también ha ido creciendo. Porque el tiempo y la distancia pusieron a la amistad que nos une en esa perspectiva amplia, profunda, transparente que la convivencia diaria raras veces permite percibir. Es así como he comprendido cuan importante fueron para mi desarrollo profesional y personal, los muchos años que compartí con ustedes, trabajando en proyectos de interés común, recorriendo caminos que al decir del poeta, se hacen sólo al andar y, a veces, simplemente soñando.

Hace ya algún tiempo, con ocasión de recibir la medalla por 25 años de vida profesional, les envié a ustedes un mensaje con algunas reflexiones sobre lo que para mí ha significado ser ingeniero de minas. Mi ex-alumno y buen amigo Renán Espinosa leyó aquellas líneas en una noche de camaradería que no pude compartir con ustedes. Permítanme recordarles hoy día mis palabras de ese entonces, porque al releerlas recientemente pensé que siguen siendo expresión fiel de mis sentimientos. Dije ayer y digo hoy: "Mi profesión me puso frente a la rica realidad de nuestra patria, sus hombres y su naturaleza. Me propuso tareas de hermoso contenido; me señaló horizontes; me entregó grandes responsabilidades. Mi profesión me ligó estrechamente a la juventud de Chile. Fueron muchas las generaciones de estudiantes con las que compartí triunfos y fracasos, penas y alegrías, y sobretudo sueños. Mi profesión me abrió el ámbito inmenso del continente latinoamericano, llevándome a todos sus rincones en representación de la ingeniería de minas chilena y de la Universidad de Chile. Me dio la oportunidad de adquirir experiencia en otras latitudes. Me dio amigos en todos los continentes. En suma, no hay momento de mi vida que no esté marcado por mi

vocación profesional. La ingeniería de minas ha sido uno de los medios permanentes que me han permitido crecer como hombre".

Hasta aquí mis pensamientos de ayer y hoy. Son estas posibilidades maravillosas que ofrece nuestra profesión, de enriquecer sin limitaciones la vida de quienes la practicamos y de expresar en plenitud la vocación de servicio a nuestros semejantes, a la que todos estamos llamados, las que me hacen sentir tan íntima e indisolublemente ligado a ella y tan orgulloso de pertenecer a la familia minera.

Esta es también una noche de gratitud. Es motivo de especial alegría para mí el poder expresar públicamente esa gratitud a mi madre, quien me acompaña esta noche. Ella y mi padre, con su ejemplo personal me enseñaron lecciones de infinita sabiduría y me apoyaron en forma abnegada y constante, respetando siempre mis decisiones personales.

Fueron varios los maestros universitarios que me mostraron nuevos horizontes y me propusieron desafíos, pero fueron, en particular, don Jorge Muñoz Cristi y don Laín Díez Kaiser los que me abrieron las puertas de la carrera universitaria que abracé por largos años en forma apasionada. La memoria de estos maestros me ha acompañado y me acompañará siempre.

Tuve la fortuna de egresar de la Universidad de Chile en un momento en que un hombre visionario tomaba en sus manos la responsabilidad de su gobierno. Un historiador, Juan Gómez Millas, comprendió la importancia que para el país tenía darle un impulso vigoroso al desarrollo de las ciencias y las tecnologías en la universidad. Con una confianza ilimitada en los jóvenes de mi generación, puso en los bolsillos de algunos de nosotros, egresados de ingeniería, pasajes que nos llevaron a las mejores universidades de países desarrollados, sin más misión que el estudiar y luego regresar a sembrar semilla de inquietud científica en las generaciones siguientes. Mi gratitud personal al Rector Gómez Millas.

No siempre compartimos con Enrique d'Etigny la misma visión de universidad. A pesar de esto, Enrique me brindó un apoyo sin el cual muchos de los proyectos que emprendimos para desarrollar el Departamento de Ingeniería de Minas habrían quedado sólo en el plano de las ideas. Dialogar con Enrique d'Etigny fue siempre una experiencia de gran valor intelectual y formativa para mí. Quiero expresar en frente de ustedes mi gratitud hacia él.

Y a ustedes, mis amigos, con quienes, como ya dije, compartí tantos años de mi vida, luchando codo a codo por mejorar la enseñanza universitaria y por darle un justo lugar en nuestra patria a la investigación minera y metalúrgica, cómo podría expresarles mi gratitud por el apoyo desinteresado, la compañía siempre grata y el afecto caluroso que siempre me han brindado, de los cuales esta medalla no es sino una muestra más. Espero recibir la gracia de recorrer aún otros tramos de mi peregrinación terrenal junto a ustedes.

Les traigo un saludo cariñoso de Alicia, mis hijos y mis nietos. Ellos no pudieron estar físicamente con nosotros esta noche, pero me pidieron expresamente que les dijera que estarían acompañándonos espiritualmente; Alicia, mi esposa y compañera, dignamente representada por sus padres en estos momentos. Para ella, también la expresión pública de mi gratitud, por la abnegación y renunciamento personal con que me

acompañó en aquellos años en que la universidad casi se convirtió en una segunda mujer en mi vida.

Permítanme una última reflexión. Estoy feliz de haber elegido una profesión que me ha permitido vivir tan intensamente. No resisto la tentación de robarle a Violeta el título de uno de sus más bellos poemas y exclamar: "Gracias a la vida que me ha dado tanto".

36th COM - CARLOS DIAZ INAUGURATION AS METSOC PRESIDENT
Sudbury, August 27, 1997

My friends! Mes amis!

When Bruce Conard applied a mild twist to my arm, a few years ago, to convince me of the merits of serving on the Executive of the Metallurgical Society, elementary logics should have indicated to me that a combination of a positive answer to his invitation, good health, which thank God I do enjoy, and the inexorable passing of time would place me one day in front of you accepting, with all due humility, the responsibility of leading our society. And, oh wonders of life! that day has arrived. I can only promise that I'll do my very best to remain faithful to the tradition of excellence which I inherit from my predecessors, in particular my immediate predecessor, Chris Twigge-Molecey, who served as president of the society with missionary dedication.

Chris! Thank you very much for a first class act!

For me, this is a good opportunity to present for your consideration a few ideas relating to the nature of our society and the relationship between the organization and each of its members. I want to invite you to digest them, and, then, to feed back to us your own thoughts about how we can strengthen this relationship in the immediate future.

I view the Metallurgical Society as a collective on-going project in which each of its members has a potential and unique role to play. Nurtured by a history of outstanding technological achievements, the result of the ingenuity and efforts of its members, and pursuing a mission of service to the membership, our society is indeed a most worthy project. In other words, our society is a dynamic organization which has to be continuously reinvented by its own members to meet their own professional needs. The most fascinating aspect of this task is that the activities aimed at satisfying those needs are conceived, planned, and usually implemented by members working as volunteers. This is an essential feature of our organization. In other words, for us metallurgists, MetSoc provides a means to express and cultivate our social dimension, an important part of the adventure of growing as human beings.

As Chris reminded us last year in his presidential address, the society's mission statement says that "MetSoc is dedicated to expanding the professional horizons of its members to better serve Canada's metals and materials industry". The mission statement addresses two fundamental issues. The first, expanding the professional horizons of its members, implies that the society is accepting a unique responsibility for facilitating the continuous upgrading of its members' professional knowledge and skills. The second, to better serve Canada's metals and materials industry, recognizes the social dimension of our profession, and indicates that, borrowing an expression coined by Chris, "the society is industry's secret partner".

What are the means that MetSoc has traditionally used to expand the professional horizons of its members? Basically the following:

- The **Annual Conferences** which aim to update our own members and members of sister societies on technological progress and future trends in specific fields;
- High quality **publications**, including conference proceedings, books authored by our members, the Canadian Metallurgical Quarterly, and papers published in the CIM Bulletin. I invite you to visit the conference book store to see the society's most recent publications.
- **Continuing education courses**, generally offered as pre-conference activities. Evidently, this year, we struck the right cord in forecasting the needs of the members. I am pleased to announce that two of the three pre-conference courses, Process Metallurgy of Nickel and Cobalt Extraction and Refractory Materials in Nickel and Copper Pyrometallurgy, with 70 and 35 participants respectively, were sold out. Even the Project Management course, a last minute addition to the program, attracted a sizeable group of attendees.

This year, by bringing its annual conference to a mining city, MetSoc has signalled its strong commitment to programs and services which meet the needs of the professionals who operate primary metal production facilities. I say to my friends in operations: In the next twelve months, I will try to visit you personally to discuss this very specific issue.

In the meantime, we'll continue working on Chris Twigge-Molecey's distance learning initiative in cooperation with the Council of Ontario Universities. Undoubtedly, this is an excellent instrument to reach members in isolated locations. We must always keep in mind that the society's mission statement applies to every one of its members throughout the country.

In improving and expanding these activities, we have ahead of us a formidable task, but also an exciting and rewarding one. And by we I mean each one of you. Present in this room are delegates who have become members of the society by virtue of registering for the conference. Many of them are young professionals, in the early stages of promising careers. I extend to all of you a warm invitation to make of MetSoc a home where you can make new friends and continuously enhance your own and your colleagues' professional development.

Together, we can strive to improve the social profile of the profession. As you know, the mining industry has not always enjoyed society's admiration. One very important aspect of our professional development is increasing our knowledge and skills to bring to life the richness dormant in earth's womb with due respect for mother nature. This approach to the practice of our profession will achieve miracles in reconciling the mining industry with the community at large.

In the near future, I'll continue discussing these and other issues relating to MetSoc with as many of you as I can. The goal, I reiterate, is that we all consider MetSoc as a collective project in which each of us has an important role to play.

I finish by thanking my former employer, Inco Limited, for continuing to support my MetSoc activities after my retirement. Apparently, Inco has understood that MetSoc is indeed a good secret partner. As far as I am concerned, working in MetSoc keeps me mentally and physically active. In fact Alicia, my wife, who says that my retirement is the best joke that she has ever heard, teases me by adding that she is convinced I believe that, in MetSoc and aerobics, I have found the fountain of eternal youth. Maybe there is more than an element of truth in this. I encourage other retirees to look for corporate

support which will allow them to get actively involved in society activities and enjoy life as much as I do.

HOMENAJES

TRIBUTES

TRIBUTE TO TORSTEIN UTIGARD

(April, 2012)



With due humility, I believe that I am talking today not just as a friend of Torstein and his family but also as a member of what I would call the community of Torstein's friends, colleagues and former students and many others who had the privilege of having him as a traveling companion in their own life journeys.

I met Torstein more than 20 years ago. We worked together on a few projects and we co-authored papers. With other academics and colleagues from industry, we fought to strengthen the discipline of chemical process metallurgy in Ontario universities. I was witness to his expertise in industry-oriented research and his dedication to developing quality professionals in chemical process metallurgy.

In the mid 1990s, Torstein's generous efforts to contribute to the advancement of chemical process metallurgy in foreign lands took him to my native country, where he spent a sabbatical year at the University of Chile. There, he built from scratch a pyrometallurgical research lab with his own hands, trained local academics and conducted research that provided the basis for a substantial improvement in a locally developed process for copper recovery from slag. He planted a seed that later blossomed into the strongest nonferrous pyrometallurgical academic group in Chile. He left behind many new friends. Following his return to the University of Toronto, Torstein maintained an active and permanent liaison with his Chilean friends.

Tragedy gave us an opportunity to add a new and more profound dimension to our friendship. As the author of the Little Prince would say, our conversations started to focus on "essential matters" rather than just on "matters of consequence". Words such as courage but at times fear, hope but at times frustration, joy but at times sorrow, and love, peace and kindness became flesh in Torstein. Then, I realized that I was enjoying

the company of one of the nicest human beings that I have ever had the privilege to befriend.

Torstein started to devote time to painting and beading under the guidance of one of the caregivers who visited him at home. Many small canvases became alive in a rainbow of colors. We would also sit in his living room in the company of Vivaldi, Bach, Mozart and other composers. While listening to the music, Torstein would relax and close his eyes in meditation. At times, he would just exclaim “beautiful”, with an expression of inner peace on his face.

At the Credit Valley Hospital, Torstein would enjoy wandering along the luminous corridors of the building. He would stop to admire nature coming alive in the gardens between the wards. He gave special attention to a young tree that became his favorite; he had seen its early budding and had eagerly watched the buds turning into small leaves, and slowly growing bigger and bigger. He would never see the foliage of his tree fully developed.

He was an avid observer of everything that was taking place in his new environment, and each new discovery was for him a source of joy. In his walks up-and-down the hospital, he would greet each passerby with a smile, and his “good morning” and “hello”, and the “thank you” to his caregivers and friends who visited him, came always from deep in his heart. Torstein did indeed know, as well as the fox that was tamed by the Little Prince, that: “It is only with the heart that one can see rightly; what is essential is invisible to the eye”.

In a corridor leading to the Pediatric Oncology Clinic of the Credit Valley Hospital, there is a collection of tiles painted by relatives of patients. They are all beautiful and the thoughts on some of them are very touching. Torstein’s frequent tours of the hospital always included a visit to what he called its “most beautiful corner”. On one of the tiles - depicting a bright golden sun, two red tulips and a yellow rose - there is a short poem that reads:

One seed can start a garden
One drop can start a sea
One wish can start us hoping
One dream can set us free

Torstein will remain present in our hearts through the many seeds he planted and the dreams that he shared with us, and his feeling that each of us is a unique human being.

HOMENAJE A ENRIQUE D'ETIGNY
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile (25/03/2015)



Gracias Decano por su gentil invitación a participar en este acto en el que recordamos a un hombre excepcional, a cuyo lado tuve el privilegio de recorrer el tramo más importante de mi peregrinaje terrenal hasta el presente. Celebramos hoy, también, su obra y su legado.

Conocí a Enrique d'Etigny en marzo de 1958, al regresar de la Universidad de Columbia, donde yo había estado haciendo estudios de postgrado. Enrique era el flamante nuevo director de la Escuela de Ingeniería. Luego del apretón de manos de rigor, Enrique comentó: "Así que Ud. es también de costura francesa", aludiendo al hecho de que, como él, yo me había educado en uno de los colegios de la congregación de los Sagrados Corazones - Padres Franceses. Su observación no sólo rompió el hielo entre nosotros, sino que marcó el inicio de una relación de trabajo y amistad que se prolongó por muchos años.

Rápidamente me di cuenta de que estaba frente a un hombre extraordinariamente inteligente, carismático, con gran talento gerencial, de comunicación clara y directa, abierto a las ideas de quienes lo rodeaban, generoso, con una enorme capacidad de trabajo y con un proyecto ambicioso de modernización y crecimiento de la Facultad, cuyos objetivos eran la excelencia académica y la formación de científicos y profesionales que contribuyeran de manera innovadora al desarrollo social y económico del país. Como lo demostró posteriormente, al crear el Centro de Estudios Humanísticos y al promover la incorporación de cursos en estas disciplinas en los programas de estudios de las carreras que la Facultad ofrecía, Enrique pensaba que nuestros

egresados debían tener siempre presente que su contribución a la sociedad debía estar orientada a servir al hombre.

Como director de la Escuela de Ingeniería y más tarde como decano de esta Facultad, Enrique contó con el respaldo entusiasta del rector Juan Gómez Millas, convirtiéndose así en lo que los británicos llaman "the right man, in the right place at the right time".

El primer proyecto que Enrique me asignó fue organizar un departamento de química, como parte del proceso de reorganización de la actividad académica de la Facultad en áreas científicas y tecnológicas bien definidas. En mi quehacer, aprendí que Enrique confiaba totalmente en sus colaboradores, pero siempre estaba dispuesto a entregarles su incondicional apoyo cuando éstos lo necesitaban. El Departamento de Química creció rápidamente. El acento estuvo en la formación de académicos en las áreas que consideramos prioritarias. Tres profesores de la Universidad de Concepción aceptaron nuestra invitación a participar en nuestro proyecto, y así llegó el momento en que del seno del nuevo departamento nació otro, el de Ingeniería Química con su correspondiente carrera.

Enrique me propuso una tarea adicional, cooperar en la modernización del Departamento de Ingeniería de Minas, que era mi propio campo de especialización. Para este fin, suscribimos convenios con varias universidades y escuelas extranjeras con gran prestigio en las áreas que queríamos desarrollar. La Universidad de Columbia se comprometió a apoyarnos en economía minera y en mecánica de rocas. La Escuela de Minas de París lo haría en explotación de minas y en geoestadística y evaluación de yacimientos, y el Imperial College de la Universidad de Londres en procesamiento de minerales y metalurgia extractiva. Enrique se preocupó personalmente de negociar estos convenios y conseguir el financiamiento necesario para su operación.

Profesores de estas instituciones vinieron a dictar cursos cortos en nuestra Facultad, los que estuvieron abiertos a profesionales de la industria, iniciándose así una importante actividad de puesta al día de nuestros egresados y de egresados de otras universidades. En el caso de geoestadística, recién graduados de la Escuela de Minas de París trabajaron codo a codo con nuestros investigadores aquí en Chile por periodos de uno y dos años.

A su vez, académicos jóvenes del departamento salieron a hacer estudios de postgrado en áreas prioritarias, no sólo en universidades ligadas a nosotros por convenios, sino que también a otras de similar prestigio. Simultáneamente, invitamos a académicos locales, que trabajaban en disciplinas que ya tenían algún desarrollo en Chile, a reorientar sus actividades de investigación. Este fue el caso de química de superficies aplicada a la concentración de minerales, que tomó vida bajo la dirección de Jorge Goldfarb, académico de la Facultad de Química y Farmacia; y de fenómenos de transporte aplicada a la metalurgia extractiva, cuyo cultivo se entregó a Ramón Fuentes, académico del Departamento de Ingeniería Civil.

Con la cooperación directa de Enrique, la universidad firmó acuerdos con empresas mineras locales, Enami y Disputada en particular, para obtener la participación de ingenieros con experiencia en innovación tecnológica en la enseñanza de explotación de minas y en la supervisión de seminarios, talleres de proyecto y memorias de título. Recuerdo los extraordinarios aportes hechos al respecto por los profesores Jean Chevalier y Jacques Damay.

Enrique lideró desarrollos similares en todos los departamentos de la Facultad, buscando un apropiado equilibrio entre las ciencias básicas y las tecnologías para lograr entre ellas la sinergia deseada.

Hacia fines de la década del 60, los egresados del Departamento de Ingeniería de Minas de nuestra universidad estaban preparados para enfrentar los nuevos desafíos propuestos por el acontecer nacional, primero la chilenización de las grandes minas de cobre y luego su nacionalización. Tenían la capacidad crítica e innovadora que les permitía cuestionar paradigmas y prácticas establecidas en forma constructiva, y miraban la tecnología como herramienta productiva, susceptible de perfeccionamiento o reemplazo. Ejemplos notables, al respecto, fueron el desarrollo del Convertidor Teniente, por un equipo liderado por Hermann Schwarze, y el desarrollo de una tecnología de lixiviación en pilas de minerales oxidados de cobre bajo la dirección de Esteban Domic. Ambas tecnologías continúan utilizándose en varias faenas productoras de cobre chilenas y algunas del extranjero.

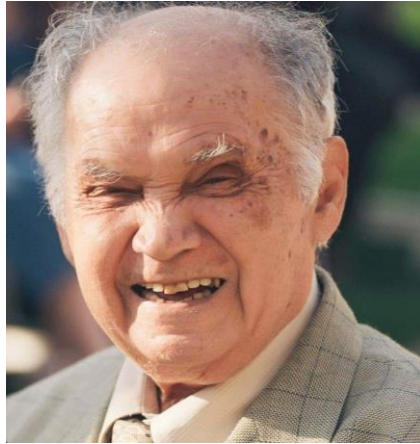
La extraordinaria contribución de nuestros egresados al mejoramiento de la productividad y sustentabilidad de la industria que los políticos llamaban "el sueldo de Chile" y "la viga maestra" de nuestra economía, fue el mejor homenaje que ellos podían rendir a Enrique d'Etigny, líder indiscutido de la revolución académica que nuestra Facultad experimentó en la década del 60, parte importantísima del legado de Enrique.

Si hay algo que yo lamento es que el terremoto político que sacudió a Chile en los años 70 haya impedido que un hombre de la talla de Enrique llegara a la rectoría de nuestra universidad. Esta fue sin duda una gran pérdida para la universidad y para el país.

Epílogo... A mediados de 1974, recibí una oferta de trabajo de una empresa minera canadiense. Busqué el consejo de Enrique, quien era prorector de la universidad, antes de responder. Enrique, usando ese estilo claro y preciso al que me referí inicialmente, me dijo: "Carlos, acepte esa oferta, porque aquí a Ud. no lo van a dejar tranquilo". Mostrando esa nobleza de espíritu que lo caracterizaba y que siempre lo impulsó a tenderle una mano al afligido, facilitó mi alejamiento de la universidad, que yo esperaba fuera transitorio, tramitando un permiso administrativo a mi favor.

Una vez más, gracias Enrique...

HOMENAJE A ENRIQUE RAUL GONZALEZ (13 de diciembre, 2015)



Alicia y yo tuvimos el privilegio de disfrutar la amistad de Raúl y Orfita por varias décadas. Con ellos compartimos dos maravillosos nietos, Marcela y Sebastián, y dos bisnietos, Sebastián Jr. (Seby) y Evangeline. Es una pena que Raúl no vaya a estar junto a nosotros para celebrar el próximo nacimiento de nuestro tercer bisnieto, el hijo de Marcela y Sean. Orfita, Alicia y yo tendremos el gusto de contarle al niño que su bisabuelo Raúl fue sin duda un hombre excepcional, que dedicó su vida a dejar tras él un mundo mejor, no sólo para sus nietos y bisnietos, sino que también para niños de muchas familias de clase obrera.

Enrique Raúl, Raúlito para sus amigos, nació hace exactamente 91 años atrás, en el desierto del norte de Chile, zona rica en un potente fertilizante conocido con el nombre de salitre, el que se convirtió en el principal producto de exportación de Chile a fines del siglo XIX y comienzos del siglo XX. La vida era dura en la desolada pampa salitrera, y se volvió más dura cuando fertilizantes sintéticos más baratos empezaron a sustituir al salitre en todo el mundo. No fue sorprendente, entonces, que Raúl, aún un muy joven, decidiera viajar al sur del país en busca de nuevos horizontes. Su personalidad fuerte, combativa y estoica ya se había forjado en el yunque de la pampa salitrera bajo un sol ardiente. La vida también le había enseñado que su lugar en la sociedad chilena era en la explotada clase obrera.

En un pueblo campesino, cerca de Santiago, Raúl conoció a Orfa, de quien se enamoró. Orfa y Raúl se casaron y formaron una familia. La educación de sus dos hijas y dos hijos pasó a ser prioridad en sus vidas.

En Santiago, Raúl trabajó en la industria metal-mecánica. Aunque sus años de educación formal no habían sido muchos, Raúl tenía una gran capacidad intelectual, una curiosidad innata por el mundo que lo rodeaba y la voluntad para convertirse en un autodidacta. En muy poco tiempo, Raúl pasó a ser un obrero eficiente, con sólidos conocimientos y una aguda capacidad de análisis en el campo metal-mecánico. Al mismo tiempo, sus observaciones lo convencieron de que tanto él como sus compañeros de trabajo estaban en el extremo perdedor de la cadena productiva. Sintió

Raúl que él tenía el deber de hacer una doble contribución en la lucha por cambiar esta injusta situación; en su lugar de trabajo como combativo líder sindical, y en la sociedad en general como militante de un partido político obrero. A lo largo de los años, la devoción y entusiasmo con que Raúl abordó sus actividades sindicales y políticas lo llevaron inevitablemente a enfrentarse al movimiento fascista que derrocó el gobierno del presidente Salvador Allende el 11 de septiembre de 1973. Al día siguiente del golpe militar, Raúl y varios de sus compañeros obreros fueron detenidos en su lugar de trabajo e internados en el Estadio Nacional de Santiago. Allí, él fue testigo de las torturas y tratos humillantes a que los militares sometieron a muchos de sus compañeros y compañeras. Esta experiencia le causó heridas emocionales tan profundas que nunca sanaron totalmente. Luego de varias semanas, Raúl fue dejado en libertad sin cargos en su contra.

Raúl y Orfa iniciaron una vida nueva en Canadá en enero de 1975. Poco después tuvimos el gusto de conocerlos. En Raúl, descubrí a un hombre que había alcanzado un elevado nivel de educación gracias a su propio esfuerzo. Era un lector infatigable y tenía un profundo interés en la música, en particular la ópera. Además de conocer a los principales compositores de este género, conocía a los más famosos cantantes, hombres y mujeres, y podía contar historias sobre los grandes teatros de ópera en el mundo. Iniciamos una estrecha amistad. Cuando nos encontrábamos, conversábamos sobre historia, política, arte y otros temas. Raúl tenía un pícaro sentido del humor y era un entretenidísimo "story teller".

Aquí en Canadá, Raúl, haciendo uso de su experiencia laboral en Chile, trabajó como obrero en la industria metal-mecánica hasta que jubiló. Con mucho tiempo libre disponible, Raúl empezó a escribir a mano sus memorias, basándose en un simulacro de diario de vida que llevaba desde tiempos inmemoriales. Un día me pidió que yo leyera y le comentara secciones que ya había terminado. Su invitación, que consideré un honor que él me otorgaba, estrechó aún más nuestra amistad. Me entregué a esta actividad con profundo interés. Era una oportunidad para explorar más en profundidad la vida de este hombre excepcional. El flujo de ida y venida de páginas entre la casa de Raúl y la mía, y el hilo de conversaciones que tuvimos sobre el tema continuaron por años. En el entretanto, Raúl encontró a una persona joven que empezó a transcribir el manuscrito a un disco duro en forma voluntaria. Ciertamente, esto iba a facilitar editar el texto final de sus memorias. Desgraciadamente, problemas de salud personal, y la enfermedad y finalmente muerte del hijo mayor de Orfa y Raúl en Chile, relegaron el proyecto memorias de Raúl para un futuro que nunca llegó.

Raúl fue un devoto hombre de familia, un amigo fiel, un hombre íntegro y de muchos talentos, que tuvo una profunda vocación social y que estuvo siempre dispuesto a luchar por una causa justa, un auténtico modelo de comportamiento para los que caminamos junto a él un tramo largo en el sendero de su vida. Adiós querido amigo, vas a continuar viviendo en nuestros pensamientos.

TRIBUTE TO ANDRZEJ (ANDREW) WARCZOK
(May, 2018)



In one of his many beautiful poems, the Spanish writer Antonio Machado says that "life is a journey along a unique path that each individual builds step by step". And what an outstanding life path was carved by Andrew Warczok, one of the most talented, innovative, generous and courageous men I have ever met. We gather here today - family, close friends, colleagues, former students - to celebrate the privilege of having travelled, short or long stretches, by Andrew's side, during his terrestrial journey; an experience that ended up enriching our own personal lives.

It is most fitting that we honour Andrew's life achievements in an academic venue. His association with: the Krakow University of Mining and Metallurgy, in his native Poland, where he obtained PhD and DSc degrees, and reached the position of Head of the Department of Metallurgy and Rare Metals; the University of Toronto in the first half of the 1990s, as Senior Research Fellow in Prof. Torstein Utigard's pyrometallurgy group; and the University of Chile, as Visiting Professor in the pyrometallurgy section of the Department of Mining Engineering for close to 15 years, demonstrates that Andrew always felt at home in academic cloisters. He devoted his entire life to advancing our understanding of the physical and chemical phenomena pertaining to high temperature metal production processes, and to educating and mentoring new generations of critical and innovative extractive metallurgists.

Andrew, his wife Ela, and their daughters Kasia and Magda moved to Canada in 1990 searching for an environment in which all members of the family could grow intellectually and spiritually without limits. I met Andrew shortly after he joined Prof. Utigard's research group. This was the start of a beautiful friendship.

In the mid 1990s, I became involved in revitalising the Department of Mining Engineering of the University of Chile, that had lost many academics during the 18 years of military

government. In discussions with Prof. Utigard, who had just spent a one year sabbatical at the university, we concluded that Andrew Warczok's talent and tenacity, and his industrial experience consulting with the Glogow smelter in Poland, was just what it was required to rebuild pyrometallurgy at the University of Chile. Upon discussing the Chilean horizon with his family, Andrew accepted the challenge.

Andrew and Ela settled in Santiago in 1997. He joined the Department of Mining Engineering of the University of Chile as Visiting Professor. A Chilean pyrometallurgist, Gabriel Riveros, was also hired by the university to team up with Andrew in establishing a solid research program and a world class extractive metallurgy school. Their first project aimed at improving the recovery of copper from slags by using magnetohydrodynamics, a completely novel idea. Two subsequent major projects, "continuous two-step cascade conversion of copper matte to copper" and "continuous fire refining of copper", were conducted inspired by Andrew's vision that their commercialization would eventually lead to full continuous high temperature production of anodic copper from sulfide concentrate.

By the end of his first year in Chile, Andrew was able to speak reasonably fluent Spanish, thus facilitating his interaction with technicians and students. The team led by Andrew and Gabriel built from scratch a pyrometallurgical research lab where they conducted the experiments that would generate the data required to write numerous patents that were filed in Chile, the USA, Canada and other countries. Their technical papers further gained recognition from pyrometallurgical researchers throughout the world.

Andrew also taught several undergraduate and graduate courses and supervised the thesis work of various students. Driven by an exemplary generosity, he became an indefatigable contributor to developing quality young pyrometallurgists.

During those years, the University of Chile pyrometallurgy group established strong links with local copper smelters and made significant technical contributions to their operations. Andrew Warczok became a household name in the copper industry.

Most regrettably, in 2006, Andrew suffered a serious health problem. As a result of lower spine surgery in Canada, he lost control of his legs. During the long period of adjusting to a new reality, Andrew's positive thinking and courage kept him contributing to his field of knowledge with as much enthusiasm as ever. Although he could not resume traveling to Chile until 2008, he stayed in continuous contact with his Chilean co-workers, discussing advances and challenges pertinent to their ongoing projects.

Andrew's engineering and communication skills and tenacity succeeded in moving these projects to a larger scale. A first semi-commercial testing of the now known "Warczok slag washing machine" was successfully conducted at the Aurubis smelter in Hamburg three years ago; a second campaign will be conducted in the near future, under the supervision of one of Andrew's Chilean students. In an alliance with a Chilean state owned mining company, a Chinese pyrometallurgical engineering company recently built a semi-commercial facility in China to test Andrew's copper matte continuous conversion and fire refining of copper. A first campaign was conducted last year with positive results. The Chinese believe that Andrew's process will become an attractive alternative to existing commercial continuous converting processes.

In the last few years, Andrew was the victim of successive and increasingly more frequent infections that lacerated his body. He endured periods of intense pain. However, this situation did not affect his indomitable spirit, and he continued contributing to the advancement of pyrometallurgy. His last master piece was modeling the operation of a novel slag cleaning electric furnace, that was recently smoothly commissioned at the Glogow smelter, with Andrew in attendance. Brave man!

Andrew and Ela were married for 53 years. They formed a beautiful family. As their daughters Kasia and Magda wrote in his obituary, "Ela always made sure that Andrew did not forget to eat and dress and had a safe home to return" at the end of the day. Andrew enjoyed the company of his grandchildren, Daniel and Sylvia, Kasia's and Maciek's children. They were always present, one way or another, in our frequent conversations. In the immediate past, I felt like sailing across the seven seas with Magda and Tim, listening to the amazing stories that Andrew would tell me over the phone.

We are saying good bye to an extraordinary human being. He taught us that, despite the many obstacles that we may find in our terrestrial journey, life is beautiful when we work hard in pursuit of our dreams... He will remain present in our hearts through those dreams that he shared with us.

NOTA BIOGRAFICA

BIOGRAPHICAL NOTE

CARLOS DIAZ URIBE

Nació en Concepción en 1932. Es ex-alumno del colegio penquista de la congregación de los Sagrados Corazones (SSCC). Hizo sus estudios de ingeniería en la Universidad de Chile. Llegado el momento, optó primero por la especialidad de minas y dentro de ésta por la mención "metalurgia extractiva". Completó sus estudios en la Universidad de Columbia (MSc, 1958) y en el Imperial College de la Universidad de Londres (PhD, 1966).

Entre 1955 y 1975, fue académico de jornada completa de la Universidad de Chile. Tuvo una activa participación en el proceso de modernización de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas que lideraron el Rector Juan Gómez Millas y el Decano Enrique d'Etigny. Organizó el Departamento de Química, de cuyo seno nació posteriormente el Departamento de Ingeniería Química. En marzo de 1967, se hizo cargo de las direcciones de los departamentos de Ingeniería de Minas y de Química. Dejó la dirección de este último departamento al asumir la presidencia del recién formado Consejo de Docencia de la Facultad y la dirección de la Escuela de Ingeniería a fines de la década del 60. En aquellos años, enseñó termodinámica química a los estudiantes de minas y de geología y metalurgia extractiva a los estudiantes de minas. Sus actividades docentes se extendieron a las universidades Técnica del Estado, Católica de Chile (Santiago), de Concepción y Federico Santamaría.

En la década del 60 y comienzos de la del 70, fue miembro del Directorio del Instituto de Ingenieros de Minas de Chile y del Consejo del Colegio de Ingenieros. Además integró el primer Consejo de la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT); y fue consultor de ENANI y CODELCO. Producida la "chilenización" de la gran minería del cobre, a fines de los 60, fue nombrado representante del gobierno chileno en el directorio de El Salvador y más tarde en el directorio de Chuquicamata.

En enero de 1975, se incorporó a la empresa minera canadiense Inco Limited, principal productor de níquel del mundo e importante productor de cobre y otros metales. Viajó a Canadá con su familia, esperando que la situación que afectaba a la Universidad de Chile, como resultado de la crisis política chilena, fuera superada en pocos años. No ocurrió así, y Carlos se quedó definitivamente en Canadá. En Inco ocupó sucesivamente los cargos de ingeniero de proyectos, investigador principal y jefe de la sección de pirometalurgia del centro de investigación de procesos de la empresa. Allí dirigió proyectos que condujeron al desarrollo de nuevos procesos de fusión y conversión de cobre y níquel.

Luego de jubilar en 1997, fue nombrado profesor adjunto del Departamento de Ciencias e Ingeniería de Materiales de la Universidad de Toronto y asumió la dirección del Centro de Procesos Metalúrgicos Químicos, organización creada por la industria para financiar proyectos académicos de investigación. Paralelamente, se desempeñó como consultor en procesos pirometalúrgicos para producir metales básicos.

Es miembro de la Sociedad Metalúrgica (MetSoc) del Instituto de Minas, Metalurgia y Petróleo Canadiense (CIM) desde comienzos de los 80. Luego de servir en varios cargos de creciente responsabilidad, asumió la presidencia de MetSoc en el periodo 1997-98.

Desde Canadá, Carlos siempre mantuvo un activo contacto con Chile. Fue uno de los fundadores de la serie de conferencias internacionales COPPER-COBRE, las que inicialmente fueron organizadas conjuntamente por MetSoc y el Instituto de Ingenieros de Minas de Chile; participó activamente en la organización de las conferencias efectuadas en los años 1987 (Chile), 1991 (Canadá), 1995 (Chile), 1999 (EE.UU.) y 2003 (Chile). Además de co-editar los anales de estas conferencias, co-editó los anales de conferencias internacionales sobre procesos de producción de níquel y cobalto. Es autor de un libro sobre "las propiedades termodinámicas de las escorias producidas en fundición de concentrados de cobre", y es autor o co-autor de más de 50 trabajos técnicos y 15 patentes de invención.

A fines de la década de los 90, participó en el proceso de modernización del Departamento de Ingeniería de Minas (y Metalurgia Extractiva) de la Universidad de Chile. Junto con el director de este departamento, Bruno Behn, crearon varias cátedras con financiamiento de la industria. Además, establecieron convenios con las universidades de Toronto (procesos pirometalúrgicos) y British Columbia (explotación de minas).

Los aportes de Carlos al desarrollo de procesos metalúrgicos químicos relacionados con la producción de cobre y níquel y a la enseñanza de la ingeniería de minas y metalurgia extractiva en Chile y en Canadá han sido reconocidos por sociedades profesionales canadienses, chilenas y norteamericanas y el Ministerio de Minería del gobierno chileno.

En el presente, Carlos está dedicado exclusivamente a su familia y amigos. Con su esposa Alicia disfrutan de la compañía de sus cinco hijos, once nietos y cuatro bisnietos, los que aumentarán a cinco el próximo año, y cónyuges y parejas de miembros de la familia. Alicia y Carlos dedican largas horas a la jardinería en primavera y verano. La música clásica y folclórica y el teatro están entre sus entretenimientos favoritos.

Octubre, 2018