



**GOBIERNO DE CHILE**  
**MINISTERIO DE EDUCACION**

**PROGRAMA MECE SUPERIOR**

# **CUARTO CONCURSO DE PROYECTOS FONDO COMPETITIVO**

## **FORMULARIO DE PRESENTACIÓN DE PROYECTOS**

***RED NACIONAL DE PROGRAMAS DE DOCTORADO EN CIENCIAS DE MATERIALES***  
***UNIVERSIDAD DE CHILE***  
***LINEA DE APOYO AL: POSTGRADO ASOCIADO***

**MAYO DE 2002**  
**REFORMULADO JULIO DE 2003**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>PRESENTACION DEL PROYECTO.....</b>	<b>4</b>
1.1	FORMATO DE PRESENTACIÓN.....	4
	TITULO .....	4
	LINEA DE APOYO, AMBITO; INDEPENDIENTE /ASOCIADO .....	4
	UNIVERSIDAD RESPONSABLE.....	4
	UNIVERSIDAD(ES) ASOCIADA(S).....	4
	COMPROMISO DEL RECTOR.....	4
	DURACION .....	5
	DIRECTOR.....	7
	DIRECTOR ALTERNO .....	7
	UNIDAD DE GESTIÓN (URP).....	7
	URP ASOCIADAS .....	7
	COMITÉ ASESOR .....	8
	UNIDAD DE COORDINACION INSTITUCIONAL.....	8
	ORGANIGRAMA.....	12
<b>2</b>	<b>EL PROYECTO.....</b>	<b>13</b>
2.1	RESUMEN .....	13
2.2	RESUMEN DE RECURSOS .....	14
2.2.1	SEGÚN FUENTES Y USOS.....	14
2.2.2	SEGÚN FUENTES Y AÑOS .....	14
2.3	VINCULACIONES ESTRATEGICAS.....	15
2.3.1	VINCULACION DEL PROYECTO CON EL PLAN ESTRATEGICO DE LA URP .....	15
2.3.2	VINCULACION DE LOS PROBLEMAS QUE RECONOCE LA URP Y LOS PROBLEMAS QUE BUSCA RESOLVER EL PROYECTO.....	16
2.3.3	VINCULACION DE LAS DEBILIDADES ESTRUCTURALES QUE RECONOCE EL FONDO COMPETITIVO Y LOS PROBLEMAS QUE BUSCA RESOLVER EL PROYECTO .....	17
2.4	OBJETIVOS .....	18
2.4.1	OBJETIVOS GENERALES .....	18
2.4.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	18
2.5	INDICADORES DE RESULTADOS .....	19
2.6	ACTIVIDADES.....	20
2.6.1	MACROACTIVIDADES .....	20
2.6.2	ACTIVIDADES PRINCIPALES .....	20
2.6.3	VINCULACION DE OBJETIVOS ESPECIFICOS, INDICADORES DE RESULTADOS, MACROACTIVIDADES, ACTIVIDADES PRINCIPALES, Y RECURSOS .....	21
2.6.4	PROGRAMACION DE ACTIVIDADES (CARTA GANTT).....	23
2.7	RECURSOS.....	23
2.7.1	SEGÚN FUENTES, USOS Y AÑOS .....	23
2.7.2	MEMORIA DE CALCULO .....	23
2.7.3	SUSTENTABILIDAD DEL PROYECTO.....	24
2.7.4	SITUACIÓN URP CON Y SIN PROYECTO.....	24
2.8	ADQUISICIONES.....	26
2.8.1	PLAN DE DESARROLLO DE PERSONAL.....	26
2.8.2	PLAN DE ASISTENCIA TECNICA .....	26
2.8.3	BIENES. JUSTIFICACION FRENTE A RECURSOS DISPONIBLES .....	27
2.8.4	OBRAS: JUSTIFICACION FRENTE A OBJETIVOS ACADEMICOS Y POLÍTICAS DE CONSTRUCCIÓN (PLAN MAESTRO ).....	33
<b>3</b>	<b>PLAN DE SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DEL PROYECTO.....</b>	<b>34</b>
<b>4</b>	<b>LA UNIDAD RESPONSABLE DEL PROYECTO (URP).....</b>	<b>38</b>
4.1	PLAN ESTRATEGICO.....	38

4.1.1	MISION .....	43
4.1.2	ANALISIS DE LOS FACTORES EXTERNOS E INTERNOS (FODA).....	44
4.1.3	CONCLUSIONES DEL ANALISIS FODA: PRINCIPALES PROBLEMAS (DEBILIDADES Y AMENAZAS, PRIORIZADAS) .....	46
4.2	OBJETIVOS ESTRATEGICOS (EN EL MISMO ORDEN DE 4.1.3) .....	46
4.3	ESTRATEGIAS Y PLANES DE ACCION (EN EL MISMO ORDEN DE 4.1.3).....	47
4.4	RECURSOS Y CAPACIDADES DESARROLLADAS.....	49
4.4.1	PERSONAL ACADEMICO Y ESTUDIANTES.....	49
4.4.2	RECURSOS MATERIALES (DESCRIPCION).....	50
<b>5</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>53</b>
5.1	ANEXO 1. CURRICULUM VITAE RESUMIDOS .....	53
5.1.1	DATOS PERSONALES .....	53
5.1.2	FORMACION ACADEMICA .....	53
5.1.3	TRABAJO ACTUAL .....	53
5.1.4	TRABAJOS ANTERIORES .....	53
5.1.5	GESTION DE TESIS DE PREGRADO, ESPECIALIDADES Y POSTGRADO .....	53
5.1.6	GESTION DE PROYECTOS ACADEMICOS (DOCENCIA E INVESTIGACION) .....	53
5.1.7	PRODUCTIVIDAD ACADEMICA (PUBLICACIONES EN TEXTOS Y REVISTAS DE CORRIENTE PRINCIPAL) .....	54
5.2	ANEXO 2. PLAN DE ADQUISICIONES .....	54
5.3	ANEXO 3. INFORMACION ADICIONAL .....	54
5.3.1	COTIZACIONES.....	52
5.3.2	VINCULACION INTERNACIONAL.....	52

# 1 PRESENTACION DEL PROYECTO

## 1.1 FORMATO DE PRESENTACIÓN

### TITULO

Red Nacional De Programas De Doctorado En Ciencias De Materiales

### LINEA DE APOYO, AMBITO; INDEPENDIENTE /ASOCIADO

LINEA: POSTGRADO ASOCIADO

AMBITO: CREACION DE REDES NACIONALES

(ASOCIADO)

### UNIVERSIDAD RESPONSABLE

UNIVERSIDAD DE CHILE

### UNIVERSIDAD(ES) ASOCIADA(S)

UNIVERSIDAD DE CHILE

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA

### COMPROMISO DEL RECTOR

El Rector que suscribe presenta formalmente el proyecto adjunto, acepta las bases y condiciones del concurso y asume la responsabilidad de cumplir los compromisos de ejecución del mismo, en caso de aprobarse.

Nombre del Rector	Firma del Rector
LUIS RIVEROS CORNEJO UNIVERSIDAD DE CHILE	

## 2 PRESENTACION DEL PROYECTO

### 2.1 FORMATO DE PRESENTACIÓN

#### TITULO

RED NACIONAL DE PROGRAMAS DE DOCTORADO EN CIENCIAS DE MATERIALES

#### LINEA DE APOYO, AMBITO; INDEPENDIENTE /ASOCIADO

LINEA: POSTGRADO ASOCIADO

AMBITO: CREACION DE REDES NACIONALES

(ASOCIADO)

#### UNIVERSIDAD RESPONSABLE

UNIVERSIDAD DE CHILE

#### UNIVERSIDAD(ES) ASOCIADA(S)

UNIVERSIDAD DE CHILE

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA

#### COMPROMISO DEL RECTOR

El Rector que suscribe presenta formalmente el proyecto adjunto, acepta las bases y condiciones del concurso y asume la responsabilidad de cumplir los compromisos de ejecución del mismo, en caso de aprobarse.

Nombre del Rector	Firma del Rector
<p>UBALDO ZUÑIGA QUINTANILLA UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE</p>	

### 3 PRESENTACION DEL PROYECTO

#### 3.1 FORMATO DE PRESENTACIÓN

##### TITULO

RED NACIONAL DE PROGRAMAS DE DOCTORADO EN CIENCIAS DE MATERIALES

##### LINEA DE APOYO, AMBITO; INDEPENDIENTE /ASOCIADO

LINEA: POSTGRADO ASOCIADO

AMBITO: CREACION DE REDES NACIONALES

(ASOCIADO)

##### UNIVERSIDAD RESPONSABLE

UNIVERSIDAD DE CHILE

##### UNIVERSIDAD(ES) ASOCIADA(S)

UNIVERSIDAD DE CHILE  
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE  
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA

##### COMPROMISO DEL RECTOR

El Rector que suscribe presenta formalmente el proyecto adjunto, acepta las bases y condiciones del concurso y asume la responsabilidad de cumplir los compromisos de ejecución del mismo, en caso de aprobarse.

Nombre del Rector	Firma del Rector
PEDRO PABLO ROSSO PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE	

**DURACION**

(meses)

3	6
---	---

**DIRECTOR**

<b>NOMBRE</b> FERNANDO LUND	<b>INSTITUCION</b> UNIVERSIDAD DE CHILE	<b>CARGO EN LA INSTITUCION</b> PROFESOR TITULAR
<b>E MAIL</b> flund@dfi.uchile.cl	<b>TELEFONO</b> 6784855	

**DIRECTOR ALTERNO**

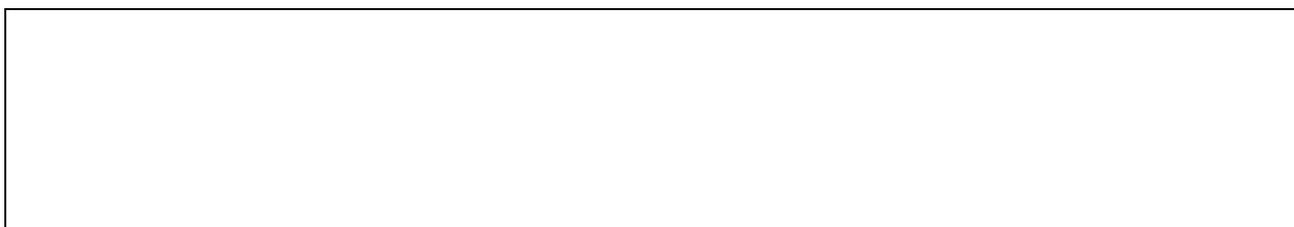
<b>NOMBRE</b> OSCAR BUSTOS	<b>INSTITUCION</b> UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE	<b>CARGO EN LA INSTITUCION</b> PROFESOR TITULAR
<b>E MAIL</b> Obustos@lauca.usach.cl	<b>TELEFONO</b> 6811545	

**UNIDAD DE GESTIÓN (URP)**

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Unidad Responsable:</b> FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMATICAS, UNIVERSIDAD DE CHILE.</li> <li>• <b>Consejo Directivo:</b>  FERNANDO LUND (U. de Chile, Director)  OSCAR BUSTOS (USACH, Director Alterno)  ALEJANDRO CABRERA (P.U.C.)  MIGUEL ORSZAG (Director de Programa de Doctorado, P.U.C.)  ALBERTO MONSALVE (Director de Programa de Doctorado, USACH)  AQUILES SEPULVEDA (Director de Programa de Doctorado, U.de Chile)</li> </ul>
---

**URP ASOCIADAS**

Red constituída por: Universidad de Chile: Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, Mención Ciencia de los Materiales Universidad de Chile: Doctorado en Ciencias, Mención Geología. Universidad de Chile: Doctorado en Ciencias, Mención Física Universidad de Santiago de Chile, Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, mención Ciencia e Ingeniería de Materiales Pontificia Universidad Católica: Doctorado en Ciencias Exactas con mención en Física.
---



## COMITÉ ASESOR

NOMBRE	INSTITUCIÓN	CARGO EN LA INSTITUCION
Patricio Häberle	UTFSM, Valparaíso, Chile	Profesor Titular
Francisco Melo	USACH, Santiago, Chile	Profesor Titular
Elies Molins	CSIC, Barcelona, España	Profesor de Investigación
Guillermo Solórzano	PUC, Rio de Janeiro, Brazil	Profesor de Ciencia e Ingeniería de Materiales

## UNIDAD DE COORDINACION INSTITUCIONAL

### **Estructura Directiva y de Coordinación para los Proyectos de la Universidad de Chile con Recursos del Fondo Competitivo MECESUP**

Para la dirección, coordinación y operación de los proyectos de pregrado y de postgrado relacionados al MECESUP, la Universidad de Chile ha estructurado organismos específicos de manera de cubrir cuatro aspectos fundamentales para el éxito de ellos:

- La más alta calificación académica y de gestión en la dirección, operación, seguimiento y evaluación de los proyectos
- La responsabilidad y fluidez económico-financiera
- La racionalidad y agilidad en la administración
- La rápida y eficiente vinculación con el MECESUP

Con estos propósitos, la Universidad ha constituido los organismos para el manejo y relación de los proyectos con el MECESUP que se describen a continuación.

### **COMITÉ EJECUTIVO**

Con las siguientes funciones principales:

- Delinear y proporcionar el marco estratégico en el cual se desarrollarán los proyectos de desarrollo de la docencia de pregrado y postgrado de la Universidad, con

financiamiento del MECESUP, basándose para ello en los lineamientos estratégicos de la Institución.

- Asegurar el éxito de los proyectos de pregrado y postgrado, el cumplimiento de sus objetivos y metas, hacer seguimiento de los mismos, evaluar sus resultados y auspiciar las medidas correctivas en caso de desviaciones o falencias en el cumplimiento de los propósitos enunciados.
- Vincularse con cada uno de los proyectos y con la Unidad Coordinadora General del MECESUP, a través de la Secretaría Ejecutiva del Comité y de la Unidad de Coordinación Institucional.

El Comité Ejecutivo está integrado por:

- Mario Sapag-Hagar, Vicerrector de Asuntos Académicos (VAA), quien lo preside
- Carlos Cáceres S., Vicerrector de Economía y Administración (VEA)
- Sergio Gómez del Canto, Director del Departamento de Pregrado de la VAA
- Germán Ferrando R., Director del Departamento de Postgrado de la VAA

### **SECRETARÍA EJECUTIVA DEL COMITÉ EJECUTIVO**

Con las siguientes funciones principales:

- Coordinar con las unidades académicas y con las unidades centrales la formulación, presentación y posterior puesta en marcha, ejecución, seguimiento y evaluación de los proyectos de pregrado y postgrado, en el marco de los concursos del Fondo Competitivo del MECESUP.
- Dar a conocer el marco estratégico institucional en el que se formularán, presentarán y ejecutarán los proyectos de pregrado y postgrado de la Universidad, con recursos del MECESUP.
- Actuar de nexo entre el Comité Ejecutivo y los Directores de Programas de Postgrado y de Proyectos de Pregrado y monitorear sus trabajos y resultados.
- Hacer seguimiento de los proyectos e informar al Comité Ejecutivo de los estados de avance en los aspectos académicos, financieros y administrativos, en estrecha coordinación con la Unidad de Coordinación Institucional.
- Instruir la discontinuidad en la ejecución presupuestaria de los proyectos, según los avances y el cumplimiento de las metas programadas, con la autorización para ello del Comité Ejecutivo.
- Proporcionar al MECESUP las facilidades para que cuente fluidamente con los antecedentes necesarios y llevar a cabo los controles solicitados, operando, para ello, con la Unidad de Coordinación Institucional.
- Coordinar la elaboración de los estados de avance e informes periódicos, académicos, financieros y administrativos, de los proyectos y su presentación al MECESUP.
- Velar por el cumplimiento de los acuerdos establecidos en los convenios firmados con el Ministerio de Educación, en las materias que atañen a los proyectos de pregrado y postgrado desarrollados con recursos del MECESUP.

La Secretaría Ejecutiva estará integrada por:

- Andrés Vergara P., Director del Departamento de Proyectos y Estudios
- Orlando Moya V., Asistente Profesional del Departamento de Proyectos y Estudios

### El Comité Asesor

- Asesora directamente al Comité Ejecutivo en todos los aspectos académicos que se relacionan con la formulación, seguimiento y evaluación de los proyectos de pregrado y postgrado beneficiados con recursos del MECESUP
- Sugiere al Comité Ejecutivo áreas y mecanismos de corrección en caso de desviaciones de los proyectos respecto de los objetivos y metas a alcanzar en el área académica.

Está compuesto por académicos destacados de la Universidad de Chile, en aquellas áreas más relacionadas con los objetivos de los proyectos.

- Lucía Invernizzi Santa Cruz, Directora Académica de la Facultad de Filosofía y Humanidades
- Alberto Gurovich Weisman, Director Departamento Urbanismo, Facultad de Arquitectura y Urbanismo
- Norber Galanti Garrone, Académico, Programa Biología Celular, Facultad de Medicina
- Andrés Weintraub Pohorille, Profesor Investigador Departamento Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
- Tomás Cooper Cortés, Profesor Titular, Facultad Ciencias Agronómicas.

### Unidad de Coordinación Institucional (UCI)

Para todos los efectos de vinculación en materias específicas, entre la Institución y el MECESUP, y de acuerdo a las exigencias establecidas por el Fondo, se ha constituido una Unidad de Coordinación Institucional (UCI), integrada por:

Carlos Cáceres S.	-	Coordinador Institucional
Andrés Vergara P.	-	Coordinador Institucional Alternativo
Carlos Castro S.	-	Encargado Asuntos Financieros
Angela Leiton M.	-	Encargada Asuntos Jurídicos
María Estela Palacios	-	Encargada Adquisiciones

En materias financieras, jurídicas y de contraloría, esta Unidad se contactará directamente con los Directores de Proyectos de Postgrado y Pregrado.

### **Unidad de Coordinación Institucional (UCI) de la Universidad de Santiago de Chile**

Existe un Comité Institucional de Evaluación de Proyectos Mecesus. Está integrado de la Sgte. manera:

- Prorrector: Humberto Jorquera
- Vicerrector de Docencia: Ricardo Santander
- Vicerrector de Investigación y Desarrollo: Vicente Martínez

Más 4 académicos nombrados por el Consejo Académico que en estos momentos son los siguientes:

- Felisa Córdova, Facultad de Ingeniería
- Luis Gaete, Facultad de Ciencias
- Naín Nómez, Facultad de Humanidades
- Antonio Gutiérrez, Facultad Tecnológica

y finalmente Cyntia Rojas que actúa como Directora Ejecutiva.

### **Unidad de Coordinación Institucional (UCI) de la Pontificia Universidad Católica de Chile**

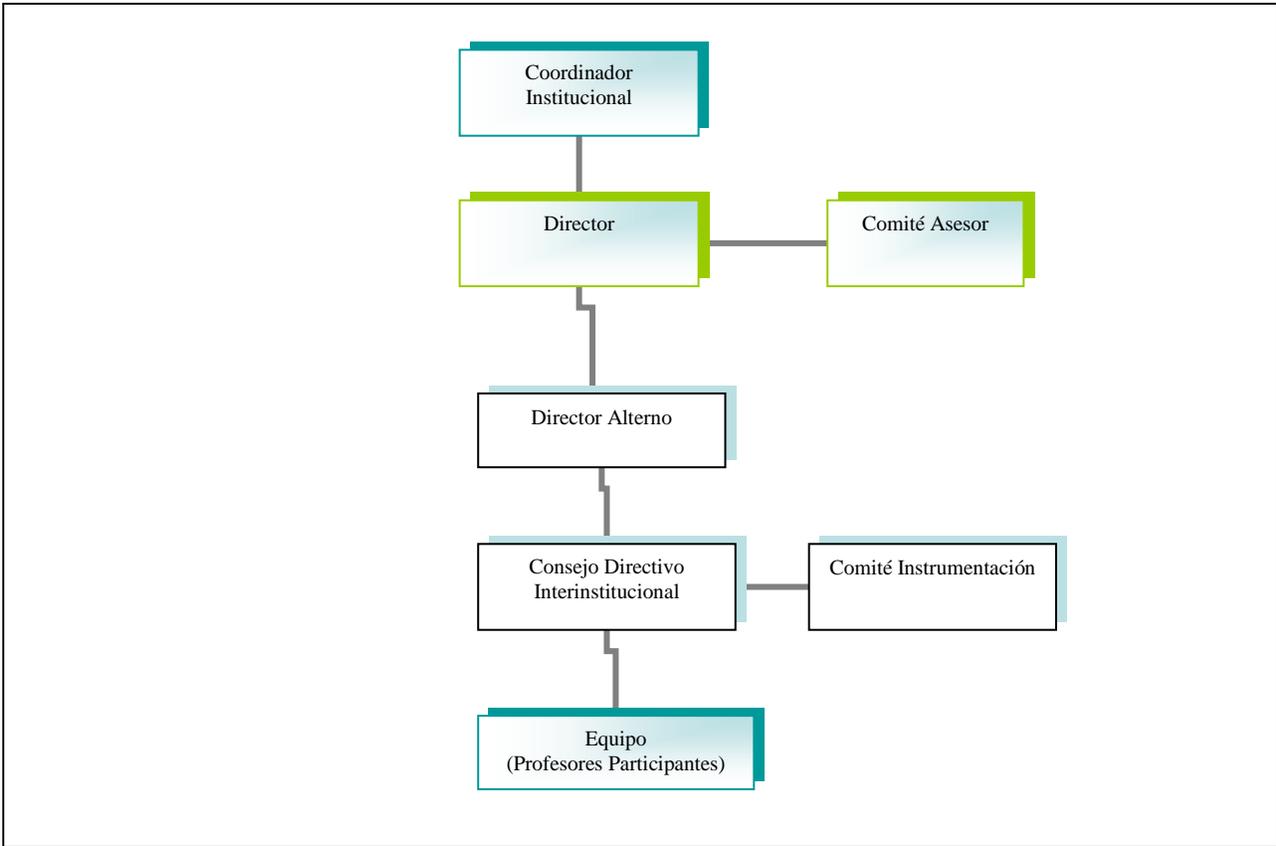
La Unidad de Coordinación Institucional (UCI) es la encargada y responsable de velar por el cumplimiento correcto e integral de todas las normas, procedimientos, exigencias, etc., establecidas por el MINEDUC, como también de la normativa interna de la Universidad en lo referente a los aspectos económicos y administrativos de los Proyectos MECESUP.

Es la unidad responsable de coordinar todas las acciones entre la Universidad y el Ministerio de Educación que surgen a raíz de la adjudicación de los Proyectos.

Los miembros de la Unidad de Coordinación Institucional (UCI) de la Pontificia Universidad Católica de Chile, son:

- **Coordinador Institucional:** Bernardo Domínguez C. - Director General de Desarrollo Académico, Vicerrectoría Académica.
- **Encargado de Seguimiento:** Luciano Gaínza C.- Ingeniero, Dirección General de Desarrollo Académico, Vicerrectoría Académica.
- **Encargado Financiero:** Carlos Valenzuela P. - Ingeniero de Proyectos, Dirección General de Desarrollo Académico, Vicerrectoría Académica.
- **Encargado Adquisiciones:** Carlos Valenzuela P. - Ingeniero de Proyectos, Dirección General de Desarrollo Académico, Vicerrectoría Académica.
- **Encargado Jurídico:** Raúl Novoa G., Director de Asuntos Jurídicos, PUC
- **Encargado de Contraloría Interna:** Luis Briones A., Auditor, Departamento de Auditoría Interna, PUC

# ORGANIGRAMA



## 4 EL PROYECTO

### 4.1 RESUMEN

Las Ciencias de los Materiales han tenido un desarrollo muy significativo en todo el mundo en las últimas décadas. Por un lado la necesidad de nuevos materiales ha sido una constante a través de la historia de la humanidad, para su transporte, albergue, alimentación, comunicación, defensa y comercio, y por otro sus propiedades han llegado a definir los límites, alcance, potencialidades, confiabilidad e impacto ambiental de las nuevas tecnologías. Los avances en ciencia e ingeniería de materiales hacen posible el progreso en una vasta gama de disciplinas científicas y tecnológicas que tienen un impacto dramático en la sociedad. En Chile, todo parece indicar que su crecimiento actual y potencial de crecimiento futuro están y continuarán estando ligados de manera muy significativa al ámbito cercano a la minería. También en Chile, y a diferencia de lo que ocurre en los países con un grado de desarrollo avanzado, la interacción entre mundo académico y sector productivo es muy escasa. Sin embargo, el número de personas con el entrenamiento necesario para contribuir significativamente a este esfuerzo, contribuir al desarrollo nacional y servir de interlocutores válidos a las contrapartes extranjeras, es todavía excesivamente pequeño.

En concordancia con esta realidad y el desafío que ella presenta, las instituciones que presentan esta propuesta han creado recientemente programas de doctorado en ciencia de materiales. También ellas, así como otras en el país, han creado subáreas de materiales en otros programas de doctorado preexistentes. En su corto tiempo de existencia, estos programas han logrado atraer a profesionales distinguidos a su cuerpo académico, y a un número creciente de estudiantes talentosos y entusiastas. Los números de estudiantes son, sin embargo, todavía pequeños y su crecimiento, que debiera ser rápido para poder mantener el ritmo de crecimiento impuesto por la globalización de las comunicaciones, se ve limitado por la falta de un esquema que permita potenciar las fortalezas de las distintas instituciones.

El objetivo de la red y centro de equipamiento que aquí se propone es potenciar las capacidades y fortalezas de las instituciones participantes de modo de avanzar a un ritmo acelerado hacia la formación de un número de doctores en ciencias de materiales que sea congruente con la realidad descrita en los párrafos anteriores. Para ello se propone la creación de programas de intercambio y pasantías, tanto nacionales como internacionales, para los estudiantes; organización de un esquema que permita a los estudiantes tener acceso, sobre todo como temas de tesis, a la totalidad de los investigadores participantes en los claustros de profesores; la incorporación, de manera orgánica, de seminarios y talleres comunes que faciliten y estimulen la interacción tanto de académicos como de estudiantes; la adquisición de equipamiento mayor de punta que permita formar doctores que sean interlocutores válidos con sus pares del resto del mundo y, finalmente, la realización de talleres con representantes del sector productivo para avanzar en la relación academia-producción, que todavía es muy deficitaria en nuestro país. Esperamos que un número creciente de tesis doctorales se originen en problemas propuestos por la industria.

## 4.2 RESUMEN DE RECURSOS

### 4.2.1 SEGÚN FUENTES Y USOS

(millones de pesos)

	FONDO	INSTITUCION	TOTAL	%
INVERSION				
Perfeccionamiento	164	198	362	26,6
Asistencia Técnica	0	0	0	0
Bienes	800	40	840	62
Obras	0	67	67	4,9
GASTOS DE OPERACIÓN	0	90,5	90,5	6,7
<b>TOTAL</b>	964	395,5	1359,5	100
%	71	29	100	

### 4.2.2 SEGÚN FUENTES Y AÑOS

(millones de pesos)

	FONDO	INSTITUCION	TOTAL	%
Año 1	142,9	128,5	271,4	20
Año 2	620,7	154,5	775,2	57
Año 3	200,4	112,5	312,9	23
<b>Total</b>	964	395,5	1359,5	100
%	71	29	100	

### 4.3 VINCULACIONES ESTRATEGICAS

#### 4.3.1 VINCULACION DEL PROYECTO CON EL PLAN ESTRATEGICO DE LA URP

Esta propuesta desea enfrentar el desafío de incrementar sustancialmente el número de profesionales capaces de generar conocimiento original de manera independiente en ciencias de materiales, que puedan enfrentar de manera creativa y efectiva los desafíos que presenta la falta de recursos humanos calificados en ciencia y tecnología, en el campo de las ciencias de materiales. La manera más reconocida internacionalmente para lograr este objetivo es a través de un programa de doctorado, y es en esta dirección que la presente propuesta pretende avanzar, a partir de los programas que la integran. Esta formación sólo puede darse al más alto nivel de excelencia, pues los doctores chilenos en ciencias de los materiales serán los interlocutores naturales con el resto de la comunidad mundial en la disciplina, y su diálogo se vería seriamente limitado si su formación no les permitiera un intercambio de igual a igual con sus colegas de otras latitudes.

La existencia de esta Red y Centro de Equipamiento hará que la oferta de temas de tesis doctorales aumente significativamente, incluyendo la posibilidad de tesis dirigidas en cotutela. Los estudiantes podrán también realizar estadías de distinta duración, desde semanas a meses, en laboratorios de instituciones distintas a aquella de origen, nuevamente enriqueciendo su formación. La adquisición de equipamiento mayor de uso compartido permitirá formar doctores en condiciones de dialogar de igual a igual con sus pares de cualquier parte del mundo. Los estudiantes tendrán también acceso a un mayor número de cursos electivos, y la organización de actividades como cursillos, seminarios, visitas de profesores nacionales y extranjeros, en común, permitirá optimizar el uso de los recursos disponibles.

A través de la formación de una Red y de un Centro Nacional de Equipamiento Mayor de uso compartido, se pretende atacar un problema estructural serio en los programas de doctorado en ciencias de materiales, cual es su relativa falta de comunicación. Esto es particularmente importante en esta área, dada su naturaleza intrínsecamente interdisciplinaria. En efecto se pretende, a través de una variedad de instrumentos, crear una nueva cultura interdisciplinaria, interinstitucional e internacional.

El tema de las Ciencias de Materiales parece ser particularmente adecuado para enfrentar los problemas estructurales de falta de recursos humanos en ciencia y tecnología, falta de incentivos estructurales para la ciencia, y falta de interacción entre los sectores científico y productivo. En efecto, las propiedades de los materiales han llegado a definir los límites, alcance, potencialidades, confiabilidad e impacto ambiental de las nuevas tecnologías que han modificado de manera dramática nuestra vida cotidiana en las últimas dos décadas. Los avances en ciencia e ingeniería de materiales posibilitan el progreso en una vasta gama de disciplinas científicas y tecnológicas que tienen un impacto dramático en la sociedad. En Chile, todo parece indicar que su crecimiento actual y potencial de crecimiento futuro están y continuarán estando ligados

de manera muy significativa al ámbito cercano a la minería. También en Chile, y a diferencia de lo que ocurre en los países con un grado de desarrollo avanzado, la interacción entre mundo académico y sector productivo es muy escasa. Sin embargo, el número de personas con el entrenamiento necesario para contribuir significativamente a este esfuerzo, contribuir al desarrollo nacional y servir de interlocutores válidos a las contrapartes extranjeras, es todavía excesivamente pequeño.

#### 4.3.2 VINCULACION DE LOS PROBLEMAS QUE RECONOCE LA URP Y LOS PROBLEMAS QUE BUSCA RESOLVER EL PROYECTO.

PROBLEMAS DEFINIDOS COMO PRIORITARIOS POR LA URP	PROBLEMAS DE LA URP QUE ABORDA EL PROYECTO
Insuficiente número de doctores en ciencias de materiales en Chile.	El proyecto propone un cambio cualitativo en la forma como se enfrenta la formación de doctores en ciencias de materiales en Chile, de modo de potenciar el uso de los recursos de los componentes de la red, en que la suma de sus esfuerzos sea más que la suma de sus partes.
Escasa comunicación entre los distintos programas de doctorado que forman científicos de materiales, que tienen fortalezas complementarias.	El proyecto propone la creación de una cultura interdisciplinaria, interinstitucional e internacional en que la transversalidad sea asumida, especialmente por los estudiantes, que serán los encargados de construir el futuro de la nación, como una componente natural de su quehacer.
Insuficiente dotación de equipamiento mayor en un área del saber que hace uso intensivo de equipamiento costoso.	El proyecto propone crear un Centro nacional de Equipamiento Mayor de uso compartido. En él se facilitará el uso del equipamiento ya existente entre los distintos usuarios de la red, y se adquirirá nuevo equipamiento que permitirá formar estudiantes a un nivel competitivo internacional.
Insuficiente interacción entre los sectores universitarios y empresariales.	El proyecto propone usar el tema de las ciencias de materiales para avanzar en el diálogo universidad-empresa. El tema parece adecuado, dada su vinculación con una variedad de disciplinas y sub-disciplinas científicas y tecnológicas

### 4.3.3 VINCULACION DE LAS DEBILIDADES ESTRUCTURALES QUE RECONOCE EL FONDO COMPETITIVO Y LOS PROBLEMAS QUE BUSCA RESOLVER EL PROYECTO

Insuficiente recambio académico generacional y contratación de nuevos académicos con doctorado dentro y fuera del país, en las distintas áreas disciplinarias y transdisciplinarias del saber.	Este proyecto busca incrementar la cantidad y calidad de los doctorados en ciencia de los materiales, un área del saber que es transdisciplinaria por esencia. También, contratar postdoctorados en el área.
Insuficiente formación científica y tecnológica de los estudiantes, de acuerdo a las necesidades actuales y proyectadas para el desarrollo del país	Se busca potenciar la capacidad instalada en tres instituciones para la formación de doctores en ciencias de materiales, un área muy deficitaria en el país.
Diseño curricular caracterizado por una excesiva duración de los programas y carreras, nivel de retención y falta de flexibilidad curricular	La estructura de Red proporciona un marco adecuado para la movilidad estudiantil entre instituciones, y flexibilidad curricular de los programas participantes.
Insuficiente desarrollo del postgrado, especialmente de doctorado, con insuficiente cobertura de disciplinas, bajas tasas de ingreso y graduación	Se busca potenciar la formación de doctores en ciencias de materiales, un área muy deficitaria en el país.
Insuficiente inserción de los postgrados en el ambiente empresarial y productivo.	Las ciencias de materiales se prestan muy particularmente para establecer un diálogo entre los ambientes académicos y productivos, cosa que este proyecto pretende llevar adelante.
Insuficiente profundidad en los campos científicos y tecnológicos de importancia para el desarrollo del país.	Este proyecto aborda las ciencias de materiales, un área estratégica en un país en que la minería juega un papel esencial.
Insuficiente infraestructura humana y de redes de informática y comunicaciones para acceder a tecnologías de información y metodologías orientadas al aprendizaje, incluidas la educación a distancia.	La estructura de red propuesta se presta admirablemente para suplir esta deficiencia.
Insuficiente colaboración interinstitucional, tanto nacional como internacional, formación de alianzas y falta de redes académicas.	La Red que aquí se propone ataca este problema en su base misma.

## **4.4 OBJETIVOS**

### **4.4.1 OBJETIVOS GENERALES**

El principal objetivo de esta red es provocar un cambio cualitativo y cuantitativo en la calidad y cantidad de los doctorados en ciencia y tecnología asociados a la Ciencia de los Materiales. Esta es un área de importancia estratégica para Chile y el número actual de graduados es todavía muy pequeño, a pesar de los grupos de excelencia que se desempeñan en las instituciones que presentan esta propuesta. De este modo se pretende contribuir de manera sustancial a paliar lo que parece ser la principal falencia en los índices de competitividad de Chile: La falta de recursos humanos calificados en ciencia y tecnología, los incentivos estructurales para la ciencia, y la falta de interacción entre los sectores científicos y productivos.

### **4.4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

1. Incremento en la cantidad e impacto de los doctorados en Ciencias de los Materiales.
2. Creación de una cultura interdisciplinaria, interinstitucional e internacional para los estudiantes de doctorado en materiales.
3. Establecimiento de un Centro Nacional de Equipamiento Mayor.
4. Incremento de la vinculación Universidad- Empresa.



## 4.6 ACTIVIDADES

### 4.6.1 MACROACTIVIDADES

- Establecimiento e implementación de un programa de becas de doctorado.
- Establecimiento e implementación de programas de pasantías de estudiantes en laboratorios de instituciones distintas a su institución de origen.
- Establecimiento e implementación de programas de estadías de estudiantes en laboratorios extranjeros, así como de visitas de estudiantes y especialistas extranjeros.
- Adquisición, instalación, operación y mantención de equipo científico mayor.
- Contratación y destinación de personal idóneo para el correcto funcionamiento del Centro Nacional de Equipamiento Mayor.
- Contratación de postdoctorandos con cultura interdisciplinaria.
- Organización de seminarios y conferencias comunes a todos los participantes en la Red. Establecimiento de redes informáticas entre las instituciones, especialmente para el uso óptimo de la documentación. Programación del uso de las tecnologías de la información. Adquisición del hardware y software correspondiente.
- Organización de talleres con participación de representantes del sector productivo relacionado a los materiales (minería, metalurgia, plásticos, implantes artificiales, etc).

### 4.6.2 ACTIVIDADES PRINCIPALES

1. Establecer un programa de becas de doctorado en Ciencias de Materiales.
2. Establecer un programa de pasantías, así como de estadías de investigación para los estudiantes, en instituciones de la red distintas de su institución de origen. Esta movilidad generará una verdadera cultura interdisciplinaria, y permitirá optimizar el uso de los recursos materiales en los laboratorios asociados. Esta acción ya se realiza al interior del Programa de Doctorado de la Universidad de Chile, en que los estudiantes deben realizar dos estadías, cada una de 16 semanas de duración a 10 horas por semana, en laboratorios distintos entre sí y distinto a su especialidad de Licenciatura. Este mecanismo ha resultado muy exitoso.
3. Establecer un programa de seminarios y conferencias comunes a todos los participantes en la red. Esto permitirá incrementar el intercambio entre estudiantes e investigadores pertenecientes a las distintas instituciones y también contribuirá al establecimiento de una cultura multidisciplinaria.
4. Establecer un programa de intercambio internacional de estudiantes a través de la Colaboración Interamericana de Materiales (CIAM). Esto permitirá a los estudiantes compenetrarse de los estándares internacionales en el campo, dar a conocer los resultados que ellos obtienen en sus trabajos de investigación, y aprender de los resultados que se obtienen en los laboratorios y centros visitados. Se contempla tanto visitas de estudiantes chilenos a laboratorios extranjeros, como de estudiantes

- extranjeros a laboratorios chilenos.
5. Establecer un Centro de Equipamiento Mayor de carácter virtual, al que tendrán acceso no sólo los estudiantes de los programas participantes en esta propuesta, sino también aquellos de otros programas, así como los investigadores respectivos, donde la actividad todavía no cuenta con un Programa de Doctorado acreditado (Universidades de Antofagasta, Santa María, Católica de Valparaíso, Concepción, Austral). A este Centro se integrará el equipamiento ya existente en las unidades participantes, así como el eventual equipamiento que se adquiriera con el presente proyecto. A través de esta acción, esperamos que se fortalezcan y, eventualmente, acrediten, nuevos programas en ciencia de materiales y disciplinas afines.
  6. Incrementar el número de publicaciones científicas generadas como resultado del trabajo de tesis de los estudiantes.
  7. Incrementar el vínculo Universidad-Empresa. Esto se logrará a través del establecimiento de un Comité Asesor Externo con participación de representantes del sector productivo, y con la realización de Talleres anuales conjuntos entre la Red e industrias y empresas ligadas a la ciencia de materiales.

#### 4.6.3 VINCULACION DE OBJETIVOS ESPECIFICOS, INDICADORES DE RESULTADOS, MACROACTIVIDADES, ACTIVIDADES PRINCIPALES, Y RECURSOS

OBJETIVOS ESPECIFICOS	INDICADORES DE RESULTADOS	MACROACTIVIDADES	ACTIVIDADES PRINCIPALES	RECURSOS (MM\$)
1. Incremento de la cantidad e impacto de los doctorados en Ciencia de Materiales	Variación en el número de estudiantes becados	Establecimiento de un programa de becas de doctorado	Convocatoria, publicidad, adjudicación y evaluación de las becas.	Fondo: 100 Institución: 45 TOTAL: 145
	Incremento en el número de publicaciones ISI generadas como resultado de las tesis doctorales.	Establecimiento de redes informáticas entre las instituciones, especialmente para el uso óptimo de la documentación. Programación del uso de las tecnologías de la información. Adquisición del software y hardware correspondiente	Estudio del equipamiento disponible en el mercado. Cotizaciones. Adjudicación. Adquisición, instalación y operación.	No se realizará esta macroactividad
2. Creación de una cultura interdisciplinaria, interinstitucional e internacional para los estudiantes de doctorado en materiales.	Variación en el número de pasantías de estudiantes en instituciones de la red distintas de su institución de origen.	Establecimiento de un programa de pasantías para estudiantes en laboratorios de instituciones distintas a su institución de origen.	Convocatoria, selección y calendarización de las pasantías.	SV
	Variación en el	Establecimiento de un	Convocatoria y	

	número de seminarios y conferencias comunes a todos los participantes en la Red.	programa de seminarios y conferencias comunes.	calendarización de los seminarios	SV
	Variación en el número de estudiantes que efectúan visitas a instituciones de países pertenecientes a la Red Interamericana, y de estudiantes de esos países que visitan instituciones pertenecientes a la Red Nacional.	Establecimiento de un programa de estadias de estudiantes en laboratorios extranjeros, así como de visitas de estudiantes y especialistas extranjeros	Convocatoria, selección y calendarización de las pasantías y visitas.	Fondo: 64 Institución: 15  TOTAL: 79
		Contratación de postdoctorados con cultura interdisciplinaria	Llamado a concurso y adjudicación de puestos	Institución: 153 Total: 153
3. Establecimiento de un Centro Nacional de Equipamiento Mayor.	Incremento en el número de equipos científicos de punta disponibles para la Red. Número de usuarios (proyectos) de la red con acceso a equipos fuera de su unidad.	(a) Adquisición de equipo científico mayor. (b) Contratación y destinación de personal idóneo. (c) Habilitación de espacios y mantención	Estudio de mercado; cotizaciones; licitación; adjudicación; fabricación y traslado; remodelación de los espacios; instalación y funcionamiento.	(a) 840 (Fondo: 800. Institución: 40)  (b) 62,5 (Institución: 62,5)  (c) 80 (Institución: 80)
4. Incremento de la vinculación Universidad Empresa	Se incluye como indicadores el número de talleres realizados con participación de representantes del sector productivo, así como el número de tesis y patentes generadas como resultado de los trabajos de tesis, la satisfacción de los graduados en el programa, así como de sus empleadores.	Organización de talleres con participación de representantes del sector productivo relacionado a los materiales (minería, metalurgia, plásticos, implantes artificiales, etc).	Calendarización y convocatoria; publicidad	SV
TOTAL				1359,5

**SV:** Significa “Servicios Valorados” y están a cargo de la contraparte.

**4.6.3.1 PROGRAMACION DE ACTIVIDADES (CARTA GANTT)**

Inserte la Carta Gantt obtenida con MS Project

Se adjunta a continuación

**4.7 RECURSOS****4.7.1 SEGÚN FUENTES, USOS Y AÑOS**

Inserte Cuadro Recursos según Fuentes, Usos y Años adjunto en planilla Excel.

Se adjunta a continuación

**4.7.2 MEMORIA DE CALCULO**

Inserte la información elaborada a partir de las planillas entregadas en archivos Excel (hojas correspondientes a inversión en consultorías, perfeccionamiento, inversión en bienes y/u obras, gastos operativos en efectivo y contrapartes)

Se adjunta a continuación

**4.7.3 SUSTENTABILIDAD****DEL PROYECTO**

--

**4.7.4 SITUACIÓN URP CON Y SIN PROYECTO**

SIN PROYECTO	CON PROYECTO
Los estudiantes tienen acceso sólo a los profesores del claustro de su programa.	Los estudiantes tienen acceso a los profesores de los claustros de todos los programas participantes, con el consiguiente enriquecimiento en su formación.
Las actividades docentes y los temas de tesis están limitados a aquellos asociados a los laboratorios pertenecientes a cada programa.	Las actividades docentes y los temas de tesis se pueden llevar a cabo en cualquiera de los laboratorios asociados a la Red. El programa de pasantías en instituciones distintas a aquella de origen permite a los estudiantes exponerse a estas nuevas posibilidades, incrementando su cultura interdisciplinaria.
Los estudiantes se relacionan con sus compañeros dentro de cada programa por separado.	Los estudiantes se relacionan con todos los estudiantes de los programas participantes de la Red. Esto aumenta su cultura, y los sensibiliza a un espectro más amplio de posibilidades.
Los estudiantes no cuentan con un esquema orgánico de estadías en el extranjero.	Los estudiantes cuentan con un esquema orgánico de estadías en el extranjero. Esto les permite dar a conocer las actividades, tanto suyas como de los demás miembros, de la

	Red. También aprender, y dar a conocer localmente, los avances e ideas que ocurren en el extranjero.
Los temas de tesis están limitados por la instrumentación existente en cada institución.	Al establecerse un Centro de Equipamiento Mayor que incluya equipo hasta ahora inexistente en el país, se ampliará significativamente el espectro de temas de tesis posible. El tiempo de permanencia en los programas disminuirá significativamente, al superarse la etapa en que los profesores guía deben solicitar la buena voluntad de colegas en otras instituciones para la realización de mediciones, y en que mediciones que necesitan de viajes al extranjero deben descartarse por el costo involucrado.
El crecimiento, en calidad y en cantidad, de los egresados de cada programa depende de las posibilidades de cada uno por separado.	El crecimiento, en calidad y en cantidad de los doctorados en ciencia y tecnología de materiales es significativamente mayor
El intercambio de los programas con el sector productivo está limitado a las posibilidades de cada uno por separado.	Al existir una red, el sector productivo cuenta con un interlocutor válido de carácter nacional.

## **4.8 ADQUISICIONES**

El Plan de Adquisiciones del Proyecto deberá incluirse en extenso en el Anexo 2.

### **4.8.1 PLAN DE DESARROLLO DE PERSONAL**

Este proyecto no contempla becas para académicos.

### **4.8.2 PLAN DE ASISTENCIA TECNICA**

Este proyecto no contempla recursos en el ítem Asistencia técnica.

#### 4.8.3 BIENES. JUSTIFICACION FRENTE A RECURSOS DISPONIBLES

##### **El papel de la instrumentación en la enseñanza de las Ciencias de Materiales**

Un ingrediente esencial en la formación de un científico de materiales está dado por la caracterización de materiales, y hay un conjunto de instrumentos que son indispensables para otorgar una formación competitiva:

- **Difractómetro de rayos X (XRD):** Los instrumentos actuales, dotados de detectores de estado sólido, permiten determinar la estructuras cristalinas extremadamente complejas, y que pueden ser inestables en el tiempo. El difractómetro de polvo permite identificar fases en muestras policristalinas y es un instrumento de uso muy común. El difractómetro de monocristal permite determinar la estructura (a priori desconocida, de las moléculas que forman un cristal.
- **Espectrometría de fotoelectrones X (XPS):** Esta técnica, asociada con espectroscopia de electrones Auger (AES) y con retrodispersión de iones de baja energía (LEIS) permite la caracterización de superficies sólidas, especificando la composición química de las 2-10 primera capas atómicas. Específicamente, XPS provee información sobre el entorno químico, eventualmente la identificación del número de oxidación de un elemento superficial, y excepcionalmente la identificación de un compuesto químico específico. AES asistida por erosión con iones de argón permite construir un diagrama composición vs. profundidad (hasta aproximadamente 1 micrómetro). LEIS permite identificar los elementos que forman la primera capa atómica en la superficie, pero no entrega información del estado químico.
- **Microscopía de fuerza atómica (AFM):** Permite estudiar la topografía de una muestra con alta resolución, frecuentemente atómica, de una superficie sólida (conductora o aisladora). Es una técnica que complementa a la microscopía de efecto túnel, que funciona mal con muestras aisladoras. Adicionalmente mide fuerzas de atracción (perpendiculares a la superficie) y de arrastre (paralelas a la superficie), lo que permite estudios de nanotribología. Puede ser ambiental o en vacío.
- **Microscopía electrónica de barrido (SEM):** Muestra la topografía de una muestra, sin resolución atómica, pero con un gran rango dinámico (grandes o pequeños aumentos). Es una técnica esencial de caracterización. Puede ser complementada con detector de rayos x para estudiar la composición con profundidad de análisis del orden del micrómetro (contra XPS cuya profundidad de análisis es de 1 nm)
- **Microscopía electrónica de transmisión de alta resolución (HRTEM):** Permite analizar secciones transversales de muestras, frecuentemente con resolución atómica, excepcionalmente con mediciones dinámicas. En el modo de difracción de electrones permite identificar fases y grupos cristalinos en pequeños sectores de la muestra. Nótese que difracción de rayos X permite identificar las fases dominantes (mínimo 1%), mientras que HRTEM muestra donde están, siendo capaz de

identificar islas de una fase perdidas en una matriz de otra.

- **Micro-Espectroscopia Raman (Micro-Raman):** Permite hacer análisis Raman de muestras sólidas ya sean óxidos, polímeros, semiconductores, diferentes fases de carbón (incluyendo diamante) y otros compuestos orgánicos. Cuando se acopla Raman con un microscopio óptico de alta resolución se consigue un análisis de muestras tan pequeñas como granos ferroelectricos de 16 micrones de diámetro.
- **Microscopia de campo cercano, confocal y de analisis Raman (SNOM-Raman confocal):** Este aparato combina microscopía de campo cercano que permite ópticamente observar moléculas individuales, análisis Raman a escala del AFM, y microscopia confocal. Observar moléculas individuales es de gran interés biológico de especial aplicación a la ingeniería de alimentos. Debido a que la luz laser que permite el análisis de campo cercano o Raman, se canaliza por una apertura del tamaño de 10 nm realizada a la aguja de un AFM convencional, permite captar la morfología de un sólido a escala de décimas de micrón, una mapeo Raman de composición o la fluorescencia de moléculas de interés debido a la estimulación de la onda evanescente.

Las instituciones participantes en esta propuesta cuentan con instrumentación de XRD, XPS, AFM, y SEM y Micro-Raman. Sin embargo, hay un déficit en HRTEM y SNOM, y es por eso que aquí se propone el establecimiento de un centro nacional de instrumentación en estas especialidades. La energía mínima que debe poseer un instrumento HRTEM de esta naturaleza para que sea útil en el estudio físico de metales, cerámicas y compósitos es de 200 keV

A diferencia de la XPS, AFM y SEM, que permiten el análisis de estructuras y defectos en la superficie de los materiales, la microscopía electrónica de transmisión es el método elegido (e irremplazable!) cuando se debe estudiar la estructura y sus defectos en el seno del material, cuando se requiere resolución a escala de atómica (HRTEM) o de grupos de átomos (TEM).

¿Cuál es el papel de la instrumentación en la educación de los estudiantes de postgrado en ciencias de materiales? Uno de los componentes esenciales de la educación de alumnos de postgrado es la aplicación de los principios teóricos fundamentales a materiales reales en el laboratorio. A través de la experimentación, los estudiantes pueden evaluar la validez de las teorías, familiarizarse con los instrumentos y sus metodologías que ocuparán en su carrera académica o profesional futura y explorar las interrelaciones entre la síntesis y procesamiento, estructura, propiedades, y desempeño de los materiales. En los cursos pertinentes, se debe enfatizar cómo la síntesis y procesamiento de materiales controla la estructura de los materiales y, a su vez, cómo esta determina sus propiedades. Los principios y modelos aprendidos en las clases teóricas serán así contrastados por el alumno en experiencias de laboratorio. Para ello es necesario entonces caracterizar la estructura de los materiales obtenidos por distintas técnicas y medir experimentalmente las propiedades que aquellos parámetros estructurales determinan. Desde luego, una componente esencial en la formación de un doctorando es la elaboración de una tesis de grado, que supone una contribución original al conocimiento, básico o aplicado, universal. Contar con la

instrumentación adecuada asegura la posibilidad de un abanico de temas congruentes con el desarrollo de la disciplina.

Dado que las propiedades físico-químicas de los materiales están íntimamente relacionadas con sus características estructurales y microestructurales, es importante tener una visión amplia de las posibilidades que la microscopía electrónica de transmisión ofrece al estudio de materiales. El equipo que se solicita en esta propuesta permite observar la microestructura de materiales diversos (silicatos, sulfuros, óxidos, polímeros, láminas delgadas, cerámicas, etc.) por medio de difracción de electrones, microscopía electrónica de transmisión (TEM) alta resolución (HRTEM) y análisis dispersivo de energía (EDS). Tanto en Geología como en la enseñanza de la Ciencia de Materiales, el TEM es una herramienta irremplazable. Algunos ejemplos:

- **Estructuras Cristalinas.** La estructura cristalina de un material puede determinarse mediante Difracción de Electrones y las figuras obtenidas, representación de la red recíproca de un metal, brindan información sobre el espaciado interplanar de los planos difractantes, de los ángulos interplanares entre las distintas fases, simetría y grupos espaciales. Estos son temas que en los Programas de Doctorado en Ciencia de Materiales son tratados en asignaturas tales como: Principios Estructurales de los Sistemas Metálicos, Principios de Metalurgia Física, Física de Materiales, Caracterización de Materiales, Comportamiento Mecánico de Materiales, y Cristalografía. En un TEM la técnica de difracción está intrínsecamente asociada a la de microscopía, lo cual permite la caracterización de pequeños granos, por ejemplo.
- **Defectos Cristalinos.** Los defectos cristalinos (fallas de apilamiento, dislocaciones) son sólo visibles en una micrografía electrónica de transmisión al distorsionar en sus vecindades una cierta familia de planos (hkl) orientados cerca de la posición de Bragg. Ya que cada tipo específico de defecto origina un contraste distinto, las imágenes permiten visualizar los distintos tipos de defectos presentes en un material. En el caso de dislocaciones es posible evidenciar las interacciones entre éstas y obstáculos a su movimiento tales como precipitados, bordes de grano y subgrano, otras dislocaciones inmóviles, etc.
- **Determinación de la presencia de una segunda fase dispersa.** El análisis del contraste de una segunda fase dispersa en la matriz es uno de los problemas más complejos de la microscopía electrónica. Un precipitado puede hacerse visible en un microscopio electrónico debido a los efectos de difracción propios, o a la distorsión que origina en la matriz. El primer caso corresponde a precipitados incoherentes y el segundo es característico de los precipitados coherentes.
- **Caracterización de nuevos minerales y sus estructuras cristalinas; estudio de minerales metálicos, ceolitas, minerales del grupo de las arcillas y otros minerales estratégicos.** El estudio mediante HRTEM daría una nueva visión a la docencia e investigación en Mineralogía en el ámbito sudamericano, ya que la inexistencia de

esta técnica en Chile (o en países próximos) limita sustancialmente el alcance de la investigación en este campo. La aplicación de la microscopía electrónica de transmisión (TEM) en Mineralogía-Petrología permite la observación de microestructuras con aumentos de hasta 350.000x. Dislocaciones, lamelas de deformación, límites de granos, subgranos y planos de macla pueden ser estudiados mediante el TEM. La microscopía electrónica convencional (TEM) ofrece imágenes de la muestra con una resolución de hasta  $\approx 500\text{\AA}$ . El modo de barrido (STEM) da la posibilidad de incrementar notablemente el contraste, así como modificar las características de la imagen de transmisión. El estudio mediante la difracción de electrones en áreas seleccionadas (*selected area diffraction*, SAED) permite conocer en tiempo real una visión de la red cristalográfica de un área seleccionada sobre la imagen, permitiendo conocer la orientación de cada zona, reconocer el posible carácter defectuoso del material, diferenciar entre polimorfos, etc. La aplicación en modo de alta resolución (HRTEM) permite visualizar las denominadas líneas reticulares, en imágenes unidimensionales, o puntos reticulares en bidimensionales, que son reflejo del modo de repetición periódica de la estructura cristalina. La posibilidad de incorporar microanálisis (AEM) es una herramienta de gran utilidad en la caracterización del quimismo de las diferentes fases estudiadas, puesto que permite obtener un análisis cualitativo de áreas tan pequeñas como  $20\text{\AA}$  que llega a ser cuantitativo para un área mínima de  $200 \times 1000\text{\AA}$ .

- **Otros.** Contando con accesorios tales como módulo de microensayo de tracción y platina caliente es posible realizar observaciones in situ de la interacción de dislocaciones con obstáculos y efecto de la temperatura en las características estructurales.

En los Programas de Red de Doctorado que aquí participan es posible visualizar que en las asignaturas: Principios Estructurales de los Sistemas Metálicos, Principios de Metalurgia Física, Transformaciones de Fases, Solidificación de Metales, Comportamiento Mecánico de Sólidos, Materiales Cerámicos, Polímeros, Comportamiento Mecánico de los Materiales, y Metalurgia Mecánica, esta herramienta constituiría una valiosa ayuda en la enseñanza experimental y que dejará capacitado al estudiante para el desarrollo de su tesis de grado.

En el Programa de Doctorado de Geología de la Universidad de Chile la

presencia de un HRTEM implicaría un cambio cuantitativo en el desarrollo de la docencia e investigación, por cuanto permitiría al alumno tener una idea integrada de las diferentes técnicas de análisis mineral, tanto estructural como químico. Por otro lado, la presencia del HRTEM abriría nuevas líneas de investigación y junto a ellas, permitiría un intercambio efectivo en la docencia de temas afines a la Geología con las Ciencias de los Materiales.

La Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile cuenta con una base importante del equipamiento mencionado como esencial para proporcionar una educación de punta en Ciencias de Materiales: XRD (Monocristal y polvo), XPS, AFM, SEM (con capacidad de microanálisis), así como con los recursos humanos expertos y la infraestructura necesaria para la instalación y funcionamiento de un equipo sofisticado como el HRTEM, por lo que esa institución parece ser el lugar más natural para albergarlo.

### **WITec AlphaSNOM**

El microscopio *AlphaSNOM* de la empresa *WITec GmbH* es un instrumento de gran versatilidad, porque combina una amplia variedad de técnicas microscópicas en un solo instrumento. Esto significa, que un solo lugar específico de una muestra se puede estudiar con todas estas técnicas. En cambio, si hay que cambiar el instrumento para hacer un estudio complementario con otra técnica, típicamente se pierde el lugar original y con esto la posibilidad de una verdadera comparación de información. Con la ventaja de la combinación en un solo instrumento, las informaciones obtenidas pueden relacionarse realmente, porque provienen de exactamente el mismo lugar en la muestra en las mismas condiciones. Este hecho es hoy en día sumamente importante en la investigación de materiales, y en la docencia tiene la gran ventaja de poder demostrar a los alumnos que la información obtenida a través de imágenes microscópicas depende claramente del tipo de microscopía que se aplica. El potencial de aprendizaje es enorme. A continuación se discutan las técnicas que el microscopio *AlphaSNOM* incorpora:

**a) Microscopio óptico de campo cercano** (Scanning Near-field Optical Microscope, SNOM): Este modo de operación es la base del instrumento y es el más moderno. Con el campo cercano, la superficie de una muestra se ilumina localmente a través de una apertura muy pequeña, mucho más pequeña que la longitud de onda de la luz  $\lambda$ . Con este foco de luz casi-puntual se hace un barrido sobre la superficie y muy cerca de ella, a una distancia también mucho menor que  $\lambda$ . La intensidad de luz dispersada por la muestra se colecta con óptica clásica y se dibuja un valor de intensidad en función del barrido. El resultado es una imagen óptica de una resolución hasta diez veces mejor que el límite de difracción. La técnica fue inventada y establecida hace quince años, pero se demoró en la aplicación por las dificultades técnicas de realizar las aperturas tan finas. En el instrumento *AlphaSNOM* la técnica es disponible en los modos de transmisión y de fluorescencia.

**b) Microscopio confocal** (Confocal Microscopy, CM): En microscopía confocal

se ilumina la muestra con un foco clásico de una fuente de luz tipo LASER. La luz dispersada por la muestra se colecta también con una óptica clásica cuyo foco coincide con el foco de iluminación. Para formar una imagen, se mide la intensidad de luz dispersada en función del barrido. La gran ventaja de esta técnica sobre la microscopía convencional, en la cual toda la muestra es iluminada a la vez, es que se reduce la luz de fondo que proviene de regiones fuera del foco y que la resolución longitudinal en la profundidad de la muestra es mucho superior. En el instrumento *AlphaSNOM* la microscopía confocal es disponible en los modos de transmisión, reflexión, fluorescencia y varios modos de microscopía y espectroscopía Raman.

**c)Microscopía y espectroscopía Raman:** En espectroscopía Raman, luz incidente es dispersada en forma inelástica de un cristal o una especie de moléculas. En este proceso absorbe o emite la energía de un modo vibracional del cristal o de las moléculas. Las energías de estos modos son muy bien definidas y son típicas de un cierto cristal o de una composición química. Por lo tanto, la espectroscopía Raman sirve para identificar la composición química y cristalina de muestras. En el instrumento *AlphaSNOM* la espectroscopía Raman se combinó con la microscopía confocal, lo cual hace posible realizar mapeos de la composición química o cristalina de una muestra en forma de imágenes. El instrumento dispone de varios modos de cómo combinar el barrido con el espectro y es así de gran versatilidad.

**d)Microscopía de fuerza atómica** (Atomic Force Microscope, AFM): Como el microscopio usa la detección de fuerza para regular la distancia entre apertura y muestra en el modo SNOM, se puede usar también como AFM. El AFM es capaz de barrer una superficie con una punta en contacto lo suficientemente suave para no causar alteraciones y medir así en forma tridimensional la topografía de la superficie. En principio, esto es posible hasta llegar a resolución molecular. Con esto está en competición con microscopía electrónica, pero con la gran ventaja de dar mediciones en tres dimensiones, entonces también en profundidad, y con muestras en su estado natural, también en el caso de muestras no conductoras.

El potencial de aplicaciones del instrumento *AlphaSNOM* es inmenso, dado que la combinación de tantos modos de operación permite estudiar una amplia gama de materiales. Esta diversidad invita sobre todo a estudios en un ambiente multidisciplinario, con temas científicos en ciencia de materiales, biología, química, agronomía, ingeniería química etc. Vale mencionar sistemas de interés como la estructura y composición química de materiales de polímeros, la identificación de fases y transiciones de fases en materiales ferroeléctricos, la distribución de gotas microscópicas en emulsiones, la concentración de elementos en células y bio-organismos, la estructura de deposición de cobre en minería etc.

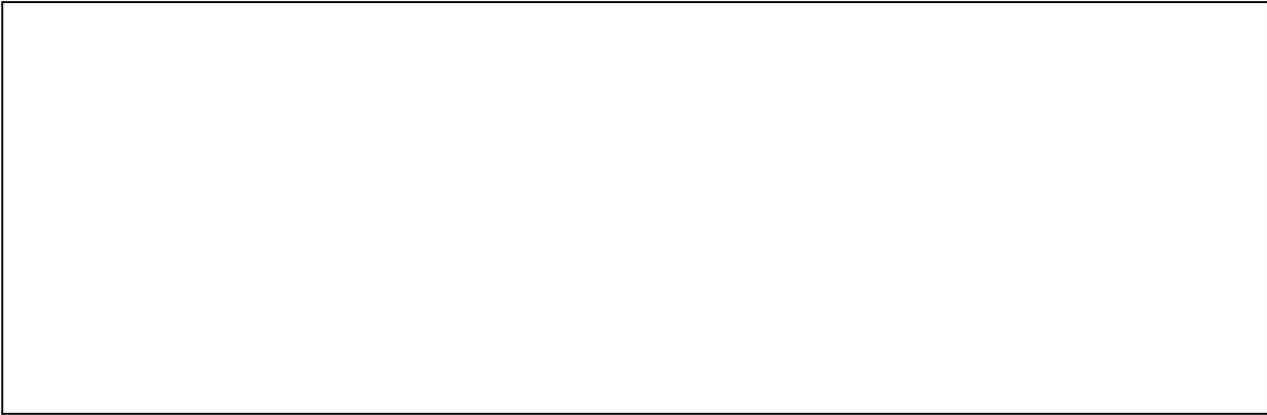
En los Programas de Doctorado de Física, Química e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica, la adquisición del equipo SNOM-Raman Confocal, permitiría una interacción mas estrecha en investigación interdisciplinaria y la futura materialización del Centro de Materiales. El laboratorio de Ciencia de Materiales de la Facultad de Física ha catalizado el fortalecimiento de la microscopía dentro de la Facultad de Física. En la Facultad de Física, se cuenta ahora con un equipo Raman visible, un SEM de alta

resolución que permite hacer observaciones en atmósfera controlada, un AFM y elipsómetro de alta resolución. Estos dos últimos instrumentos son "home made" y no permiten un servicio externo y/o colaboración activa con miembros de otras Facultades o Instituciones. La adquisición del SNOM-Raman confocal, el cual es un equipo analítico y comercial permitiría una activa colaboración y rápido servicio dentro de la institución o inter-institucional. Existe la capacidad instalada de operar y reparar este sofisticado equipo dentro de la Facultad de Física de la P. Univ. Católica y por lo tanto la Facultad de Física es el lugar natural de albergue.

#### **4.8.4 OBRAS: JUSTIFICACION FRENTE A OBJETIVOS ACADEMICOS Y POLÍTICAS DE CONSTRUCCIÓN (PLAN MAESTRO )**

Se considera las obras necesarias para la instalación del equipamiento mayor de uso compartido contemplado en el proyecto, para lo que se remodelará espacio ya existente, así como la habilitación de nuevos espacios destinados a los estudiantes que ingresarán a los programas de doctorado que sustentan este proyecto.

##### **4.8.4.1 COHERENCIA CON LA POLÍTICA DE CONSTRUCCIÓN (PLAN MAESTRO )**



#### 4.8.4.2 INFRAESTRUCTURA Y COSTOS

(millones de pesos)

	N° Mts <sup>2</sup>	Valor Mt <sup>2</sup> (UF)	TOTAL	APORTE FONDO	APORTE INSTITUCIONAL
<b>OBRAS NUEVAS</b>			0	0	0
<b>HABILITACION</b>			67	0	67
<b>TOTAL OBRAS</b>			67	0	67

### 5 PLAN DE SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DEL PROYECTO

Además del Comité Directivo Interinstitucional y del Comité Asesor, dada la naturaleza con énfasis fuertemente instrumental de la enseñanza de doctorado en ciencias de materiales, el Centro de Equipamiento tendrá un Directorio, que será responsable de las operaciones del Centro, y asesorará al Comité Directivo en lo que respecta a adquisiciones, mantención, renovación, y uso del tiempo del equipamiento. En este Directorio participarán los académicos responsables de cada elemento de equipamiento mayor asociado al Centro (R. Palma, TEM, U de Chile; M. Páez, SEM, USACH; D. Morata, SEM, U de Chile; V. Fuenzalida, XPS, U de Chile; M.T. Garland, DRX, U de Chile, A. Cabrera, Raman visible, P. U. Católica,; G. Tarrach, SEM y SNOM, P. U. Católica.

Las finanzas de la Red se llevarán a través de un único centro de costos, en la Universidad de Chile, que proporcionará los recursos humanos y materiales necesarios para esta tarea.

La Red se propone adquirir el siguiente equipamiento de última generación, como parte

del establecimiento del Centro Nacional de Equipamiento Mayor:

- Microscopio electrónico de transmisión de alta resolución (HRTEM)
- Difractómetro de Rayos-X (DRX) capaz de caracterizar películas delgadas y un SAM (Scanning Auger Microscope).

## ACTIVIDADES

El Consejo Directivo Interinstitucional se reunirá al menos cada dos meses para analizar la marcha del proyecto. Será su responsabilidad implementar un mecanismo de asignación de recursos a los diferentes programas: Becas, intercambios, pasantías, seminarios y conferencias, así como otras que puedan aparecer como necesarias durante el transcurso del proyecto. También deberá tomar las acciones que sean necesarias para lograr los objetivos del proyecto, especialmente la coordinación entre los diferentes programas participantes. También será su responsabilidad la difusión de los resultados del proyecto, y el establecimiento de vínculos tanto nacionales como internacionales.

El Directorio del Centro de Equipamiento se reunirá al menos una vez por trimestre para analizar la marcha del Centro, y elaborar las recomendaciones al Consejo Directivo. Deberá, eventualmente, elaborar una normativa que asegure el uso eficiente y equitativo de los equipos del Centro.

El Comité Asesor Externo se reunirá una vez al año y elaborará un informe, que incluirá recomendaciones. Este informe será dirigido al Comité Directivo, con copia al Ministerio de Educación.

Los tres años de financiamiento solicitados en esta propuesta son sólo los primeros tres años de existencia de una Red que permanecerá en el tiempo.

## PLAN DE SEGUIMIENTO Y EVALUACION

Alcanzar los objetivos de este proyecto significa inicialmente coordinar las actividades de académicos y estudiantes de distintas instituciones, en pos de un objetivo común. Una segunda etapa es poner todo este recurso humano a trabajar en máxima colaboración usando la mayoría de recursos de equipamiento y así generar entrenamiento, investigación, tesis y publicaciones en sinergia. Por lo tanto seguir y controlar el progreso de este proyecto requiere: Reuniones, Presentaciones e Informes, así como la realización de encuestas.

## REUNIONES

Hay tres tipos de reuniones necesarias:

- a) Inicialmente se necesitan reuniones de gestión para la captación de los recursos

humanos y de equipamiento necesarios. Estas reuniones se realizarán con el equipo de profesores encargados de la gestión.

- Definir estrategias de propaganda para la captación de alumnos
- Decisión en la estrategia para la compra de equipo mayor

b) Cuando se hayan captado los recursos humanos y el equipamiento este funcionando se iniciarán reuniones de presentaciones de alumnos, postdocs y profesores acerca del progreso de la investigación y tesis de doctorado. Estas reuniones se realizarán con el equipo de profesores encargados de la gestión.

- Calendario de Presentaciones trimestrales de alumnos
- Calendario de Presentaciones anuales de Profesores guía de tesis
- Calendario y Decisión respecto a viajes de Profesores al extranjero
- Calendario y Decisión respecto a viajes de alumnos al extranjero
- Calendario y Decisión respecto a visitas de Profesores extranjero

c) El comité asesor del proyecto realizará reuniones anuales para revisar si se han cumplido las metas establecidas inicialmente. Para estas reuniones, el equipo de gestión a través del Director del Proyecto deberá proporcionar todos los antecedentes necesarios para su revisión.

## **PRESENTACIONES**

Las presentaciones de alumnos, postdocs y Profesores se tratarán de llevar acabo en presencia de Profesores locales y extranjeros destacados. Así su opinión sobre el trabajo será un índice de calidad mas que de cantidad para el proyecto:

- Presentaciones trimestrales de alumnos
- Presentaciones anuales de Profesores guía de tesis

## **INFORMES**

Se escribirán varios tipos de informes que ayudarán al seguimiento del proyecto:

- Informes del Consejo Directivo
- Informes anuales de alumnos de postgrado sobre el progreso de su tesis
- Informe financiero anual acerca de los gastos efectuados con fondos asignados al proyecto.
- Informe anual de Comité Asesor

## **ENCUESTAS**

Se realizarán encuestas de satisfacción de usuarios a fines de los años académicos 2003, 2004, 2005, 2006 y 2007. Ellas se realizarán tanto a profesores como

estudiantes, y buscarán cuantificar el impacto que ha tenido la existencia de la red en la formación, cantidad y calidad de los estudiantes de los programas de doctorado participantes. En particular se podrá solicitar una calificación de las distintas actividades en común programadas por la red, incluyendo el acceso a los nuevos equipamientos.

## 6 LA UNIDAD RESPONSABLE DEL PROYECTO (URP)

### 6.1 PLAN ESTRATEGICO

El *Informe de Competitividad Global*, publicado recientemente por la Universidad de Harvard (<http://www.cid.harvard.edu/cr/>), ha sido ampliamente divulgado por la prensa nacional e internacional. En él se analiza el estado de la economía de 75 países sobre la base de un conjunto de indicadores, que buscan permitir la comparación de países de historia, geografía y cultura muy diversos, estudiándose tanto el estado actual de las economías como su potencial futuro. Si bien su análisis es estadístico, parece haber una alta correlación entre los indicadores propuestos y los resultados reales de las economías analizadas.

El *Informe* divide a las economías en tres categorías: De bajo desarrollo, basadas en la producción de "commodities" con mano de obra no calificada, en que la tecnología que se usa es producida en otros países y es absorbida a través de la importación y la imitación. De desarrollo medio, basadas en la eficiencia en la producción de productos estandarizados, con una infraestructura que permita una interacción adecuada con los mercados globales, y en que no sólo se absorbe la tecnología importada sino que también se desarrolla la capacidad de mejorar dicha tecnología. De desarrollo alto, basado en la innovación, en que la generación de tecnología juega un papel fundamental. Una conclusión aparentemente inescapable del *Informe* es que para que un país avance, debe alcanzar niveles cada vez más altos de sofisticación tecnológica y científica.

El *Informe* ordena a los 75 países analizados de acuerdo a dos grandes categorías: El índice de competitividad actual, y el índice de competitividad para el crecimiento futuro. El primero se refiere al uso que una economía hace de sus recursos actuales, mientras que el segundo, que es el único índice que se conocía antes de 2000, se refiere a las perspectivas de crecimiento futuro.

En el ordenamiento de competitividad actual, Chile figura en el lugar 29, el más alto de Latinoamérica, seguido de Brasil (30). En el ordenamiento de competitividad para el crecimiento futuro, que está compuesto de tres índices, Chile figura en el lugar 27, siempre el más alto de Latinoamérica, seguido de Costa Rica (35). Los índices que componen este ordenamiento son: El entorno macroeconómico (Chile, 21), las instituciones públicas (Chile, 21), y el índice tecnológico (Chile, 42). Este último índice, que coloca a nuestro país detrás de Costa Rica (32) y México (38), merece un pequeño comentario. Lo primero es que la relación con los países mencionados refleja una diferencia real y no marginal, y que esta diferencia es realmente sustancial con países como Nueva Zelanda, Australia o Finlandia. Los valores de los otros dos índices nacionales son muy similares a los de Francia.

El índice tecnológico está compuesto de tres subíndices: Innovación, transferencia de tecnología, e información y comunicaciones. Los factores más importantes que se pretende incluir en el subíndice de innovación son los recursos humanos calificados,

incentivos estructurales para la ciencia, y la interacción intensiva entre los sectores científicos y de negocios. En transferencia de tecnología, los países con un sector exportador basado en la tecnología son en general evaluados como más aptos para adaptar tecnologías externas que los países con economías basadas en la exportación de "commodities". El subíndice de información y comunicaciones evalúa el uso de teléfonos, computadores, y del internet. Esta información permite concluir que Chile necesita desarrollar considerablemente la formación de personas tecnológicamente sofisticadas. En otras palabras, al país le falta un número considerable de personas acostumbradas a pensar, en el ámbito tecnológico, de manera independiente; no sólo en el ámbito académico, sino también en el ámbito productivo.

La formación de recursos humanos altamente calificados es pues una necesidad imperiosa, y el número de 50-100 doctores por año que se generan en todas las disciplinas en todo el país debiera multiplicarse por 10 para alcanzar proporcionalmente el nivel del Brasil, por poner un ejemplo. Esta es una meta extremadamente exigente que requiere de aproximaciones creativas de modo de optimizar el uso de la capacidad existente, pequeña pero de buena calidad, y el programa de redes de programas de doctorado establecido por el Mecesup aparece como un instrumento particularmente interesante. Ya hay redes en funcionamiento de Programas de Física, Química (que agrupa a todos los programas acreditados en la disciplina en el país) y Biociencias Moleculares.

Por otro lado, si bien la capacidad instalada en ciencias básicas permite contar con recursos humanos y materiales a un nivel interesante, aquellas disciplinas más ligadas a la tecnología aparecen como claramente deficitarias. ¿Cómo reducir este déficit a partir de la realidad actual?

Durante las últimas tres décadas, Chile ha sido líder mundial tanto en la explotación de yacimientos cupríferos, como en exploración de nuevas reservas de metales para el futuro. Como una rama de las Ciencias de la Tierra, la Geología Económica ha jugado un rol esencial en el estudio, prospección y evaluación de recursos minerales. Sin embargo, existe un serio déficit de investigadores y académicos en el área, además de una preocupante falta de equipamiento de punta, lo que impide en muchos casos llevar a cabo estudios mineralógicos y geoquímicos a escala microscópica. Este tipo de análisis es indispensable no sólo para la correcta interpretación de las condiciones de formación de los yacimientos, sino también para la caracterización precisa de los materiales cristalinos naturales que los constituyen. Como es común en otros países líderes mundiales en minería, debemos contar en Chile con métodos analíticos modernos de aplicación en investigación básica de materiales geológicos. Es pues necesario comenzar por la formación de los especialistas que se necesitan, y necesitarán, cada vez más.

Las ciencias de los materiales han conocido un desarrollo espectacular en todo el mundo en las últimas dos décadas. A partir de algunas disciplinas tradicionales, como la metalurgia, la química y la física del estado sólido, la mecánica de la elasticidad y de la plasticidad; de otras más recientes, como el estudio de los polímeros y de los coloides; y algunas muy recientes como la biomimética y la simulación numérica, se ha avanzado muy sustancialmente tanto en el diseño de nuevos materiales, como en la comprensión

de las leyes básicas que rigen su comportamiento. Hay dos palabras clave que permiten caracterizar el estado actual y el probable desarrollo futuro de las ciencias de los materiales: interdisciplinariedad y multiescala.

La interdisciplinariedad significa que el concurso concertado de especialistas con formación en diversas disciplinas tradicionales permite abordar problemas que por su complejidad están fuera del alcance de aquellos con formación en una sola de ellas. Esta característica, la interdisciplinariedad, ha sido reconocida por los programas de doctorado que participan en esta propuesta: ellos integran a especialistas con formación diversa, pero capacitados e interesados en la actividad interdisciplinaria. En el resto del mundo, los programas de doctorado en ciencia de materiales pueden estar formalmente hospedados en un departamento que lleva ese nombre, o bien ser responsabilidad de equipos mutidepartamentales, sin estar hospedados en un departamento específico.

La multiescala se refiere a que muchos de los usos de los materiales se dan a niveles de estructuras, como puentes o edificios, o de máquinas, como motores o computadores. Sin embargo, ellos están formados, desde luego, por átomos y moléculas. ¿Cómo se relaciona la estructura y propiedades de un conjunto de átomos con las estructuras y propiedades que ellos forman, pero que son de un tamaño entre 8 y 12 órdenes de magnitud mayores? ¿Es posible diseñar materiales para realizar funciones específicas, con una durabilidad prolongada, y que no dañe el entorno, a partir de sus componentes microscópicas? Estos son desafíos considerables para las ciencias de los materiales, y presentan complejidades únicas.

Debe pues incrementarse sustancialmente el número de profesionales capaces de generar conocimiento original de manera independiente en ciencias de materiales, que puedan enfrentar de manera creativa y efectiva los desafíos mencionados más arriba. La manera más reconocida internacionalmente para lograr este objetivo es seguir un programa de doctorado, y es en esta dirección que la presente propuesta pretende avanzar, a partir de los programas que la integran. Esta formación sólo puede darse al más alto nivel de excelencia, pues los doctores chilenos en ciencias de los materiales serán los interlocutores naturales con el resto de la comunidad mundial en la disciplina, y su diálogo se vería seriamente limitado si su formación no les permitiera un intercambio de igual a igual con sus colegas de otras latitudes.

### **El concepto de Red de Materiales**

La Ciencia de Materiales ha evolucionado de manera muy significativa en las últimas dos décadas, de modo que el debate, acaso corresponde hablar de ciencia, en singular, o ciencias, en plural, de materiales, ha dejado de tener un interés puramente semántico. En todo caso, los problemas que la disciplina aborda son de complejidad tal, que es indispensable el concurso organizado y orientado de profesionales con formación en diversas disciplinas "tradicionales". En Chile, un ejemplo de respuesta a este desafío lo da el Centro para la Investigación Interdisciplinaria Avanzada en Ciencia de Materiales (CIMAT), financiado por el Fondo de Desarrollo de Áreas Prioritarias (FONDAP) del

Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (Fondecyt), administrado por la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT), la que a su vez ha declarado a la Ciencia de los Materiales un área prioritaria para el desarrollo tecnológico y científico nacional. En este Centro participan investigadores de dos Universidades, cuatro Facultades y seis Departamentos.

El CIMAT está orientado a la investigación interdisciplinaria de punta en subáreas en que existe una capacidad instalada pequeña, pero de excelencia. Por ejemplo, se investiga acerca de las propiedades mecánicas de las biocerámicas, como el nacre que está presente en las conchas de los moluscos. Este material, aproximadamente 97% tiza (carbonato de calcio) y 3% proteínas, tiene una resistencia a la fractura miles de veces superior a la del mineral sin el compuesto biológico. ¿Por qué? ¿Juega la estructura un papel importante y en caso afirmativo, cuál es? ¿Cómo se ha formado esa estructura? ¿Es posible replicar el método de crecimiento en otras circunstancias y otras escalas de modo de producir materiales artificiales con propiedades semejantes? Al estudio de este fenómeno concurren biólogos, químicos, físicos e ingenieros en una sinergia que no tiene precedentes en Chile.

El foco del CIMAT, ya está dicho, es la investigación de excelencia. ¿Cómo potenciar la formación de profesionales que asegure la continuidad de este esfuerzo y su expansión a otras subáreas? Hay aquí una experiencia de colaboración interdisciplinaria e interinstitucional que parece conveniente aprovechar. En la Universidad de Chile, el establecimiento del CIMAT tuvo un papel catalizador importante en la reformulación de un Programa de Doctorado en Ciencia de Materiales preexistente, de modo de incorporar de manera orgánica el aspecto inter y multidisciplinario. El Reglamento correspondiente fue aprobado por el Consejo Universitario el año 2000 y acreditado por la CONAP el mismo año. En el Claustro de este Programa participan 26 Profesores de Jornada Completa habilitados para dirigir tesis, de 10 Departamentos y 4 Facultades. Contemporáneamente, se creó el Programa de Doctorado en Ciencia de Materiales en la Universidad de Santiago de Chile, así como un importante grupo orientado a la Ciencias de Materiales al interior del Programa de Doctorado en Física de la Universidad Católica. El programa de Doctorado en Física de la Universidad Católica ha sido uno de los más exitosos en Chile de los últimos años. Como ejemplo en el periodo 1995-2000, se han doctorado 22 alumnos con un promedio de 22 académicos que participan dirigiendo tesis. Sin embargo solamente 6 alumnos han realizado tesis experimentales y solo 2 tesis en temas directamente relacionados con Ciencia de Materiales. Para subsanar esta deformación, existe actualmente un proyecto MECESUP orientado a fortalecer la Física Experimental. Por otro lado los académicos de este programa que investigan en Materia Condensada han entrado en conversaciones con académicos pertenecientes a la Facultad de Química e Ingeniería de la misma institución para materializar la formación de un Centro de Materiales que sería un punto de partida para la formulación de un programa de postgrado conducente a un grado en Ciencia de Materiales. También existe un grupo importante en el ámbito de la Ciencias de Materiales al interior del Programa de Doctorado en Física de la Universidad de Chile.

Por otro lado, el cambio sustancial que ha experimentado la Geología, también en las últimas dos décadas, transformándose de una ciencia eminentemente descriptiva en

una sustancialmente cuantitativa, genera un lazo de unión interesantísimo entre esta disciplina, esencial para el desarrollo económico de Chile, con la Ciencia de los Materiales. Esta realidad proporciona el marco para una incorporación del Programa de Doctorado en Geología de la Universidad de Chile. Por otro lado, la Ciencia de Materiales es una disciplina emergente en Chile, cuya evolución debe ser fomentada con cuidado y constancia de modo que pueda florecer y llenar el vacío de lo que es claramente un déficit nacional.

El Doctorado en Ciencia de Materiales de la U de Chile ha admitido, con posterioridad a su reformulación hace dos años, a 12 alumnos, de los cuales 7 han sido galardonados con becas de Conicyt. También, ha tomado medidas para finalizar la graduación, o terminar la participación en el programa, de los 6 estudiantes avanzados que habían sido admitidos bajo el régimen anterior. El programa de la Universidad de Santiago cuenta con 12 profesores habilitados para dirigir tesis, y en él se han admitido 22 alumnos en cinco años, 1 de los cuales cuenta con beca de Conicyt, y 7 con becas del Mecesup. En la U. Católica esta en proceso la formulación de un nuevo currículum para alumnos interesados en realizar una tesis experimental. El Doctorado en Física cuenta con más de 30 alumnos pero los alumnos interesados en física experimental, más directamente relacionada con Ciencia de Materiales son aproximadamente 6. Tres de ellos cuentan con beca MECESUP y los otros con becas otorgadas por la U. Católica. Hay pues una capacidad instalada como para guiar 40 tesis simultáneamente en régimen permanente. Claramente hay un potencial de crecimiento muy interesante que también parece oportuno aprovechar.

Los académicos habilitados para dirigir tesis en los programas que participan de la presente propuesta han generado, en el ámbito de las ciencias de materiales, del orden de 970 publicaciones ISI en los últimos 10 años.

¿Cómo aprovechar estos esfuerzos, diversas competencias, diversos equipamientos, y distintos grados de desarrollo institucional? El instrumento de redes creado por el Mecesup parece proporcionar una oportunidad ideal de optimización de esfuerzos y recursos. Por otro lado, él engarza también idealmente con la creación, en curso, de la "Colaboración Inter-Americana en Materiales" (CIAM), que es una Red en que participan Argentina, Brasil, Canadá, Colombia, EE.UU., México, y Chile a través de Conicyt. Esta red, que comenzará a operar el segundo semestre de 2002, proporcionará un muy interesante complemento internacional a la red nacional que aquí se propone.

Desde luego, la existencia de esta Red hará que la oferta de temas de tesis doctorales aumente significativamente, incluyendo la posibilidad de tesis dirigidas en cotutela. Los estudiantes podrán también realizar estadías de distinta duración, desde semanas a meses, en laboratorios de instituciones distintas a aquella de origen, nuevamente enriqueciendo su formación. Los estudiantes tendrán también acceso a un mayor número de cursos electivos, y la organización de actividades como cursillos, seminarios, visitas de profesores nacionales y extranjeros, en común, permitirá optimizar el uso de los recursos disponibles.

### 6.1.1 MISION

La misión de la Red Nacional de Programas de Doctorado en Ciencias de Materiales que aquí se propone es la formación de profesionales en el ámbito mencionado, con fuerte énfasis interdisciplinario, y con capacidad para plantearse sus propios problemas de manera original y resolverlos de manera independiente, al más alto nivel de excelencia internacional. Esto apunta a paliar deficiencias estructurales ya notadas: La falta de recursos humanos calificados en ciencia y tecnología, los incentivos estructurales para la ciencia, y la falta de interacción entre los sectores científico y productivo.

### 6.1.2 ANALISIS DE LOS FACTORES EXTERNOS E INTERNOS (FODA)

En la Sección 4.1 se ha establecido que un obstáculo significativo para el crecimiento de Chile está en su insuficiente dotación de recursos humanos calificados en ciencia y tecnología, insuficiencia de incentivos estructurales para la ciencia y la tecnología, y la falta de interacción entre los sectores científico y productivo. Esto contrasta con los muy buenos indicadores en otros ámbitos, como el entorno macroeconómico y las instituciones públicas. También se ha establecido que las Ciencias de Materiales han conocido un desarrollo acelerado, especialmente en los países industrializados; que estas disciplinas se caracterizan por la complejidad de los problemas que abordan, y que necesitan del concurso organizado y orientado de profesionales originarios de diversas disciplinas "tradicionales", y que, en particular, posibilitan y necesitan de la interacción estrecha entre científicos y tecnólogos. Finalmente, se ha establecido que no hay en el país un número suficiente de especialistas en ciencias de materiales, no sólo para que puedan contribuir al intercambio internacional del conocimiento en términos al menos paritarios, sino que para que al menos sirvan de interlocutores para poder comprender lo que se realiza en este ámbito en el resto del mundo. Hay aquí pues una muy clara **amenaza** al desarrollo nacional: o genera pronto científicos de materiales en cantidad y calidad suficiente, o aumentará una brecha, ya existente con los mayores productores de conocimiento, en un área del mismo que está en la base, y en la producción, de una gran cantidad de tecnologías que modifican, inevitablemente, nuestra vida cotidiana.

También se ha establecido que, durante las últimas tres décadas, Chile ha sido líder mundial tanto en la explotación de yacimientos cupríferos, como en la exploración de nuevas reservas de metales para el futuro. Del mismo modo, la geología ha ido cambiando paulatinamente desde un carácter marcadamente descriptivo a uno cada vez más cuantitativo. Del mismo modo, la Comisión Nacional Científica y Tecnológica (CONICYT) de Chile ha declarado a la Ciencia de los Materiales como un área prioritaria. Esto ha tenido consecuencias, como el establecimiento del Centro para la Investigación Interdisciplinaria Avanzada en Ciencias de Materiales (CIMAT), financiado a través del Programa FONDAP, cuyo foco está en la investigación científica al más alto nivel de excelencia. También, la participación de CONICYT en el establecimiento de la "Colaboración Inter Americana en Materiales", iniciativa que agrupa a siete países americanos en el reconocimiento que la Ciencia de los Materiales necesita, para su avance, de la colaboración interinstitucional e internacional. Hay aquí pues, una **oportunidad**, no sólo para cerrar una brecha inquietante con los países generadores del conocimiento, sino para establecer al Chile, en el mediano plazo, en una posición de liderazgo a nivel mundial en un área específica.

Claramente, la principal **fortaleza** de los servicios de docencia ofrecidos por la unidades proponentes está en la existencia de grupos de excelencia al interior de cada una de las instituciones que las albergan. Se ha descrito, en la Sección 4.1, a los Programas de Doctorado en Ciencia de los Materiales de la Universidad de Chile, de Doctorado en Ciencia e Ingeniería de Materiales de la Universidad de Santiago de

Chile, y de Doctorado en Física de la Pontificia Universidad Católica de Chile. También el Doctorado en Física y el Doctorado en Geología de la Universidad de Chile cuentan con grupos de distinguidos especialistas en Ciencia de Materiales. Todos estos programas, desde luego, están acreditados por la CONAP, y los académicos participantes en esta propuesta, en su muy vasta mayoría poseedores del grado de doctor, han publicado del orden de 1000 publicaciones ISI en los últimos diez años. Estos programas cuentan no sólo con los recursos humanos, sino también con la infraestructura física, que hace posible su actividad al nivel descrito. Hay pues un nivel instalado de investigación que asegura la factibilidad de contar temas de tesis en variedad, amplitud y profundidad congruentes con la generación de doctores en ciencia de materiales competitivos internacionalmente.

El párrafo anterior permite también identificar una **debilidad** sustancial de los servicios de docencia ofrecidos por las unidades proponentes: se trata de unidades que, si bien tomadas individualmente son de muy buena calidad, trabajan con una comunicación entre ellas todavía insuficiente. Esta debilidad es particularmente marcada en un tema como las Ciencias de Materiales pues, como se ha dicho, ellas son por esencia un punto de convergencia de diversas disciplinas "tradicionales" y sólo pueden florecer en un ambiente que favorezca y estimule la interacción y la colaboración de los diversos especialistas pertenecientes a las distintas instituciones.

Otra **debilidad** está relacionada con el hecho que, como se ha detallado en la Sección 2.8.3, la instrumentación juega un papel esencial e irremplazable en la educación de doctores en Ciencia de Materiales, y esta instrumentación es costosa. Si bien ya hay una base interesante de instrumentación de punta disponible en las instituciones que participan de esta propuesta, todavía falta instrumentación esencial para la formación de doctores en Ciencia de Materiales que puedan ser realmente competitivos a nivel internacional.

La última **debilidad** es la insuficiente relación, estructural en el ambiente nacional, entre el ámbito académico y el sector productivo. También ella, como se ha indicado en la Sección 4.1, es un obstáculo al desarrollo nacional. Las unidades que presentan esta propuesta comparten esta debilidad. Remediar esta situación es una tarea compleja, que necesariamente deberá involucrar actores de todos los sectores comprometidos. Parece razonable dar los primeros pasos a través de los mecanismos y oportunidades presentados por la presente propuesta.

### **6.1.3 CONCLUSIONES DEL ANALISIS FODA: PRINCIPALES PROBLEMAS (DEBILIDADES Y AMENAZAS, PRIORIZADAS)**

1. La principal debilidad que esta propuesta pretende enfrentar es la falta de comunicación mutua en que se desempeñan los distintos grupos de excelencia en ciencias de materiales que existen al interior de sus respectivas instituciones.
2. En segundo lugar, se pretende incrementar tanto el número como la calidad de los doctores en ciencias de materiales que generan las instituciones participantes.
3. En tercer lugar, se atacará el problema generado por la falta de equipamiento científico mayor de uso compartido, indispensable para la formación de doctores competitivos en ciencias de materiales.
4. Finalmente, se comenzará un diálogo, que deberá ser prudente pero persistente en el tiempo, entre los participantes en la presente propuesta y representantes del sector productivo afines a las ciencias de los materiales.

### **6.2 OBJETIVOS ESTRATEGICOS (EN EL MISMO ORDEN DE 4.1.3)**

1. El principal objetivo estratégico es la creación de una verdadera cultura interdisciplinaria, interinstitucional e internacional en el ámbito de los estudios de doctorado en ciencias de materiales.
2. El segundo objetivo estratégico es el incremento, en número y calidad, de los doctores en ciencias de materiales que se generan en las instituciones participantes. Aquí hay que distinguir dos aspectos: el instrumento que proporciona el financiamiento directo de becas de doctorado, y el efecto multiplicador que tiene la asociación de cinco fuertes programas de doctorado en pos de un objetivo común.
3. En tercer lugar, el establecimiento de un Centro Nacional de Equipamiento Mayor, de uso compartido. Esto potenciará el uso del equipo ya existente y facilitará el flujo de información entre los distintos grupos a cargo de equipamiento relevante que ya existe. Permitirá impedir la eventual duplicación en la adquisición de equipamiento costoso, e impulsará un cambio cualitativo en la calidad de la oferta docente en los estudios de doctorado en ciencias de materiales.
4. Finalmente, se pretende avanzar en el establecimiento de un diálogo entre los actores de este proyecto y representantes relevantes del sector productivo afín a las ciencias de materiales: minería, metalurgia, plásticos, implantes artificiales, etc.

### 6.3 ESTRATEGIAS Y PLANES DE ACCION (EN EL MISMO ORDEN DE 4.1.3)

La estrategia y plan de acción de este proyecto son muy simples: crear un esquema de interacción entre las instituciones participantes en que el todo sea más que la suma de las partes. Para esto se formarán los equipos de trabajo correspondientes, que en estado embrionario han estado a cargo de la formulación de la presente propuesta. Se establecerán y llevarán a cabo los diversos programas descritos en otras secciones: becas para estudiantes; intercambio nacional e internacional de estudiantes; visitas de especialistas; establecimiento de un Centro Nacional de Equipamiento Mayor; actividades comunes a todos los integrantes de la red; actividades en común con el sector productivo e implementación de relaciones a través de las infotecnologías. Todo esto llevará al establecimiento de una verdadera cultura interdisciplinaria e interinstitucional que difícilmente podrá desaparecer al fin del presente proyecto. Más bien, generará nuevas y mayores oportunidades que sin duda serán objeto de propuestas futuras.

Las oportunidades y clima dinámico que crearía la existencia de la Red y Centro de equipamiento que se propone sin duda aumentaría el atractivo de la disciplina y de los programas de doctorado involucrados para los estudiantes con inclinaciones científico tecnológicas. Al contar con recursos humanos y laboratorios en cantidad y calidad adecuados, su paso por esos programas se haría más eficiente. Esto hace razonable esperar que habrá un aumento significativo en el número de estudiantes involucrados, y que su estadía en sus programas tendrá una duración razonable.

Más específicamente:

1. Para la construcción de una cultura interdisciplinaria, interinstitucional e internacional, se organizarán seminarios y conferencias comunes a todos los participantes de la Red. Se organizará un programa de pasantías para estudiantes en laboratorios de instituciones distintas a su institución de origen, así como un programa de pasantías de estudiantes en laboratorios extranjeros. Se establecerán redes informáticas entre las instituciones de modo de realizar de manera virtual toda la interacción para la cual el contacto personal no es indispensable, así como para optimizar el uso compartido de la documentación. Se organizará la contratación de postdoctorados con cultura interdisciplinaria, aprovechando la experiencia del CIMAT, cuyo ejemplo seguramente tendrá un efecto multiplicador entre los estudiantes.
2. Para lograr el incremento, en número y calidad de los doctores en ciencias de materiales que generan las instituciones participantes se organizará un programa de becas de doctorado. Este programa complementará otros programas ya existentes, como los de las propias instituciones, de otros programas MECESUP, y de CONICYT. También se organizará un programa de visitas de distinguidos especialistas extranjeros.
3. Para el establecimiento de un Centro Nacional de Equipamiento Mayor se habilitarán los espacios correspondientes, se establecerán las redes de información relevantes, y se adquirirá el equipamiento descrito en la Sección 2.8.3. Se contratará y destinará el personal idóneo necesario, y se establecerá un programa de estadías cortas para especialización.
4. Para avanzar en el diálogo entre la academia y el sector productivo, se organizarán

talleres con representantes de ambos sectores.

### TRABAJO ADELANTADO

La oportunidad de potenciar significativamente la formación de doctores en ciencias de materiales ya fue percibida por la comunidad a raíz del III llamado a concurso del MECESUP, en que se introdujo el nuevo instrumento de Redes Nacionales de Postgrado y Centros de Equipamiento. En Mayo de 2001 se formó un Comité Interinstitucional que se reunió con una frecuencia mensual, y que organizó una serie de tres Coloquios Interinstitucionales. Ellos fueron:

1. Expositor: H. Monsalve  
Título: Anisotropía y textura en materiales metálicos: enfoque moderno  
Fecha: 27 de agosto de 2001  
Lugar: USACH
2. Expositor: M. Pilleux  
Título: Prototipado rápido de cerámicas avanzadas  
Fecha: 1 de Octubre de 2001  
Lugar: U de Chile
3. Expositor: M. Kiwi  
Título: Sistemas Magnéticos con Aplicaciones Tecnológicas  
Fecha: 22 de Octubre de 2001  
Lugar: U. Católica

También, el 23 de Noviembre de 2001 se realizó, en las dependencias del CIMAT, un "Taller TEM" cuya finalidad fue evaluar la posibilidad y necesidad reales de que una eventual Red de Materiales considerase la adquisición de un Microscopio Electrónico de Transmisión de Alta Resolución. En este Taller hubo seis ponencias orales:

1. H. Monsalve (USACH), "Propiedades Mecánicas y Microestructurales de los Aceros al Carbono".
2. M. Páez (USACH), "Corrosión".
3. S. Ordóñez (USACH), "Aleado Mecánico"; "Materiales Compuestos de Matriz Cerámica".
4. D. Morata, (UCH), "El HRTEM en Mineralogía".
5. R. Palma, (UCH), "Materiales Compuestos de matriz Metálica Reforzados con Partículas Cerámicas".
6. E. Donoso (UCH), "Aleaciones Base Cobre".

Los tres últimos expositores hicieron llegar un resumen escrito de su ponencia. También enviaron un resumen escrito pero no pudieron estar presentes:

7. V. Fuenzalida (UCH). "Estudio de Películas Delgadas".

## 8. M. Pilleux (UCH). "Caracterización de Nanocomposites Polímero-Cobre".

Cada ponencia destacó la línea de investigación de los distintos grupos, su experiencia previa con TEM, las limitaciones que la no disponibilidad local de ese instrumento significa para el desarrollo de las tesis doctorales, y el enriquecimiento que significaría para la docencia de nivel doctoral contar con él. La conclusión principal del Taller fue que existe la masa crítica en las instituciones que proponen la presente Red para operar de manera efectiva y eficiente ese equipamiento, y que su adquisición sería un aporte crucial que posibilitaría un cambio cualitativo y cuantitativo de los programas de doctorado en materiales.

En la Pontificia Universidad Católica se ha realizado un Taller de Técnicas Analíticas para la Ciencia de Materiales donde hubo ponencias de destacados profesores de la U. De Chile y USACH, además de los participantes locales. Se revisaron las aplicaciones de técnicas como, espectroscopía Raman, NMR, microscopia confocal, SEM, STM, AFM, SNOM, XRD, XPS y espectroscopia Auger. Los participantes locales pertenecían a las tres Facultades interesadas en consolidar el Centro de Materiales. Por otro lado, posteriormente se realizó un Taller de Microscopia en que participaron alumnos y se generaron apuntes que pueden ser usados a futuro. En este momento se impartirá un curso de postgrado titulado "Técnicas Modernas de Microscopia" en la cual se invitó a participar a alumnos de Doctorado en Física de la U. De Chile.

## 6.4 RECURSOS Y CAPACIDADES DESARROLLADAS

### 6.4.1 PERSONAL ACADEMICO Y ESTUDIANTES

#### ANTECEDENTES DE ACADÉMICOS Y ALUMNOS ( POR CARRERA ):

	Año 1997	Año 1998	Año 1999	Año 2000	Año 2001	Año 2002
Matrícula total	27	27	21	34	47	64
Matrícula primer año						
PAA promedio: matrícula primer año						
Titulados						
Duración establecida carrera						
Duración promedio carrera						
Graduados maestrías	2	2	2	1	0	0
Duración promedio maestrías						
Graduados doctorados	2	4	2	4	4	4
Duración promedio doctorados						
Total académicos	34	62	63	64	76	76

Total J.C.E.						
Total académicos jornada parcial		3	3	3	3	3
Total académicos jornada completa (J.C.)	34	59	60	61	73	73
Total académicos J.C. con maestrías						
Total académicos J.C. con doctorado	31	56	57	58	67	67
Total académicos con grado	31	56	57	58	67	67

Esta información corresponde a los siguientes programas: Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, mención Ciencia de Materiales, U. de Chile; Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, mención Ciencia en Ingeniería de Materiales, USACH; Doctorado en Ciencias Exactas con mención en Física, P.U.C.

#### 6.4.2 RECURSOS MATERIALES (DESCRIPCION)

- Recursos y acceso a la información: textos, revistas especializadas (listado de las principales y años disponibles) y bases de datos (listado de las principales), bibliotecas
- Recursos y acceso a equipamiento de computación, comunicaciones (Internet) y tecnologías de infocomunicación para académicos y alumnos
- Infraestructura física: aulas, laboratorios y oficinas
- Equipamiento de laboratorio y científico.

Este proyecto propone la creación de una Red Nacional de Programas de Doctorado en Ciencias de Materiales, compuesta por cinco Programas de tres universidades. Los cinco Programas están debidamente acreditados por la CONAP, lo que puede interpretarse como un primer “control de calidad” acerca de los recursos materiales de que ellos disponen, y el equipamiento de laboratorio más relevante ya fue descrito en la Sección 2.8.3

Destacamos algunos aspectos adicionales:

- **EN LA UNIVERSIDAD DE CHILE**

El Laboratorio de Computación cuenta con un “cluster” de 18 procesadores Pentium IV de 1.6 GHz, paralelizados a través de una red Mirynet.

El Laboratorio de Superficies cuenta con

- Sistema de análisis de superficies XPS, ARXPS, AES e ISS;
- Sistema de preparación de muestras en vacío ultraalto, conectado al anterior, con espectrómetro de masas y evaporadores de haz de electrones y térmico
- Sistema de ablación por haces de electrones pulsados
- Evaporadores convencionales en vacío
- Perfilómetro TENCOR (alpha step 5000)
- Detector de fugas.

- Licuefactor de Helio.
- Imán superconductor.

El Laboratorio de Materiales Biocerámicos cuenta con un SEM, equipo de sombreado, liofilizador, centrífuga refrigerada, equipamiento PCR y laboratorio de cultivo celular y microscopio de fluorescencia y polarización.

El Laboratorio de Cristalografía cuenta con un difractor de polvo y dos difractómetros de monocristal.

El Laboratorio de Ingeniería de Polímeros cuenta con reactores de polimerización, cámaras secas, plasticorder, equipamiento para el estudio de propiedades mecánicas, sortómetro y cromatógrafos.

Los cinco laboratorios anteriores están asociados al CIMAT (Centro para la Investigación Interdisciplinaria Avanzada en Ciencias de los Materiales: [www.cimat.cl](http://www.cimat.cl)), a través del cual recientemente se remodelaron aproximadamente 1200m<sup>2</sup> de espacio destinado a laboratorios, oficinas, y sala de conferencias.

Otro Centro, el Centro para la Hidrometalurgia/electrometalurgia incluye otros tres laboratorios: Laboratorio de Hidrometalurgia, Laboratorio de Biohidrometalurgia y Laboratorio de Electrometalurgia.

El Laboratorio de Proceso de Manufactura y Comportamiento Mecánico cuenta con equipos para efectuar: atomización-coinyección de aleaciones; aleación mecánica; tratamientos térmicos; conformado; prototipado rápido mediante estereolitografía; ensayos mecánicos, y metalografía. También cuenta con un muy completo taller de máquinas herramientas.

El Laboratorio de Caracterización de Materiales cuenta con equipos para efectuar: ensayos mecánicos; microscopía electrónica de barrido y microanálisis EDX y WDS; fusión al vacío; y análisis térmico diferencial y calorimetría.

El Departamento de Geología alberga un microanalizador electrónico(SEM, EDX, WDX), CAMECA SU30.

- **EN LA UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE**

Espacios físicos que disponen los profesores y alumnos para las actividades del Programa.

Para uso exclusivo de la mención Ciencia e Ingeniería de Materiales, se dispone:

- Sala de clases con capacidad de 20 alumnos, equipada con proyectores de transparencias y diapositivas, televisor y videograbador y multimedia.
- Oficinas (2) con capacidad para 5 alumnos cada una con computadores e impresoras
- Puestos de trabajo equipados con escritorios en laboratorios

Las distintas áreas temáticas (Fabricación y generación de nuevos materiales; caracterización de materiales; Propiedades de materiales; Simulación y modelación) cuentan con talleres, hornos, microscopios (especialmente SEM), equipamiento de ultrasonido, osciloscopios, laboratorio electroquímico, cámara de evaporación, fuente de iones, cámara de colisiones, lock-in amplifiers, bancos ópticos, máquina de ensayos, equipamiento computacional y espectrofotómetros.

Las bibliotecas están suscritas a 59 revistas especializadas en el área.

- **EN LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA**

**Infraestructura.-** La Facultad de Física cuenta con aproximadamente 4.200 m<sup>2</sup> de laboratorios, oficinas, biblioteca, salas de seminario y auditorio. De esto lo que mas destaca son aproximadamente 1.000 m<sup>2</sup> de espacio de laboratorio para la investigación y mas de 500 m<sup>2</sup> de laboratorio para la docencia de pregrado.

**Biblioteca.-** Se cuenta con una Biblioteca exclusiva de Astrofísica y Física que cuenta con mas de 4.000 libros y subscripción a mas de 50 títulos de revistas. Además de la Biblioteca Central de La Universidad que cuenta con mas de 480.000 libros y muchas otras revistas.

**Red Computacional.-** Se cuenta con mas de 55 PC, Pentium y 486 conectados a la red computacional de la Universidad. Alrededor de 20 PC Pentium para el uso exclusivo de Profesores. Mas de 10 PC, Pentium y 486 dedicados a adquisición de datos en laboratorios de investigación. Mas de 40 PC Pentium y 486 dedicados a laboratorios de docencia. Adicionalmente mas de 10 PC Pentium con sistema UNIX para cálculos numéricos en 2 salas de computación de uso compartido con estudiantes de postgrado.

La biblioteca cuenta con revistas científicas en línea en las que se destacan un numero significativo (25) que pueden ser ocupadas en el área de Ciencia de Materiales.

## 7 ANEXOS

### 7.1 ANEXO 1. CURRICULUM VITAE RESUMIDOS

#### 7.1.1 DATOS PERSONALES

APELLIDO PATERNO		APELLIDO MATERNO	NOMBRES	
FECHA NACIMIENTO	CORREO ELECTRONICO		FONO	FAX
RUT	CARGO ACTUAL			
REGION	CIUDAD	DIRECCION DE TRABAJO		

#### 7.1.2 FORMACION ACADEMICA

TITULOS (pregrado)	UNIVERSIDAD	PAIS	AÑO OBTENCION
GRADOS ACADEMICOS (postgrado)	UNIVERSIDAD	PAIS	AÑO OBTENCION

#### 7.1.3 TRABAJO ACTUAL

INSTITUCION Y REPARTICION	
CARGO - CATEGORIA ACADEMICA	
JORNADA DE TRABAJO (horas/semana)	
CIUDAD Y REGION	

#### 7.1.4 TRABAJOS ANTERIORES

INSTITUCION	CARGO	DESDE	HASTA

#### 7.1.5 GESTION DE TESIS DE PREGRADO, ESPECIALIDADES Y POSTGRADO

#### 7.1.6 GESTION DE PROYECTOS ACADEMICOS (DOCENCIA E INVESTIGACION)

### **7.1.7 PRODUCTIVIDAD ACADEMICA (PUBLICACIONES EN TEXTOS Y REVISTAS DE CORRIENTE PRINCIPAL)**

## **7.2 ANEXO 2. PLAN DE ADQUISICIONES**

En esta sección inserte las hojas de cálculo contenidas en la planilla Excel Plan de Adquisiciones

## **7.3 ANEXO 3. INFORMACION ADICIONAL**

### **7.3.1 COTIZACIONES**

#### **7.3.1.1 HRTEM**

#### **7.3.1.2 DRX-SAM**

### **7.3.2 VINCULACION INTERNACIONAL**

#### **7.3.2.1 ACTA REUNION DE BRASILIA**

#### **5.3.2.2 CARTA DEL PRESIDENTE DE LA SOCIEDAD BRASILEIRA DE MATERIALES**