UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOTECNOLOGÍA

DILEMAS ÉTICOS EN LA INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL QUÍMICO

RICHARD ALEJANDRO MARTÍNEZ CARO

PROFESOR GUÍA:
JOSÉ CRISTIAN SALGADO HERRERA

PROFESOR CO-GUÍA:
SERGIO ANDRÉS MONARES RUIZ

COMISIÓN:
FRANCISCO JAVIER GRACIA CAROCA

SANTIAGO DE CHILE

OCTUBRE DE 2012

Resumen

La ingeniería es una profesión que busca el bienestar social por medio de la utilización de medios técnicos. Esta tarea supone exigencias morales que van más allá de lo puramente técnico y económico. El alto impacto del desarrollo tecnológico y los cuestionamientos desde la sociedad civil a la validez de las decisiones tomadas obligan a una reflexión sobre la ética, especialmente sobre los criterios para la toma de decisiones y los principios que la sustentan.

De modo de atender a tales reflexiones, se generó una Base Ética Propuesta (BEP). Esta base es un conjunto de principios valóricos que buscan orientar el ejercicio ingenieril. Estos principios son *Conciencia Social, Reflexión Crítica, Integración, Creatividad, Desarrollo* y *Bien Común*. Estos principios se fundamentan en la Misión de la Universidad de Chile y en principios propuestos por autores como Carl Mitcham y Hans Jonas. La BEP define el objetivo de la ingeniería como búsqueda del bienestar social y también orienta y responsabiliza el ejercicio de la ingeniería y el uso de la técnica.

Dado que la Evaluación de Proyectos, actual criterio usado para la toma de decisiones ingenieriles no es coherente en sus principios con la BEP, es que se propuso complementar el criterio técnico-económico con una reflexión cualitativa. Este criterio adicional, denominado Herramienta de Análisis Integral (HAIN) analiza las propuestas de la Evaluación de Proyectos por medio de la reflexión en torno a una serie de preguntas correspondiente a cada uno de los puntos de la BEP. Así, además de establecer la rentabilidad y factibilidad de los proyectos, se propone que se consideren variables cualitativas de importancia que el criterio técnico-económico no incluye.

La HAIN fue puesta en práctica en el caso de la planta Valdivia de Celco, demostrándose la incapacidad de los tomadores de decisiones para incluir a la comunidad y a las partes interesadas en el desarrollo del proyecto. Con esto se posee un insumo para la inclusión de estos principios en cursos destinados a la formación de criterios ingenieriles, especialmente aquellos referidos al análisis económico.

Agradecimientos

A mi Madre y a mi Padre
Por estar ahí, siempre un abrazo, una palabra, siempre cariño
Y por la paciencia infinita, por supuesto
A mis hermanas Constanza y Rocío
Por las sonrisas, el encanto y el ruido
A Violeta
Por violentarme, destruirme, envolverme, besarme y amarme,
entre otras cosas.
Al profesor Cristian Salgado y al profesor Andrés Monares
Por creer en este proyecto y dar espacio a la locura
A mis abuelos
Por las raíces
A Curotto
Por los ojos, la música, las tareas y las inscripciones de ramos, las batallas de letras y el aguante, el increíble aguante
A Edu, Pablote y Esteban
Por las botellas, griteríos, aullidos, carcajadas y, obviamente, por los proyectos inconclusos
A Eugenio
Monje pérdido, ingeniero reencontrado
A Camilo, Maripa, Lore y los chiquillos
Por su compañerismo exponencial y fraternidad incomparable (y por los pelambres)
A Santa Gina,
Milagroso estandarte del DIQBT
A Alejandra y el taller de niños y niñas
Por ser un cable a tierra
A K y Ana
Por el drama
A Myr y Luna
Por desafiar constantemente las leyes de la Física
A Parra, Bolaño, Piglia, Sábato, Girondo, Saramago, y tantos otros y otras
Por sembrarme la cabeza de palabras, mentiras, verdades y verdades a medias
A las galletas y el café
Por mantenerme en pie
Al Paseo Ahumada
Por las caminatas infinitas permitidas
A los industriales
Quienes, sin quererlo, motivaron esta memoria
Al lector desconocido
Dijoelotro

Y, en especial, agradezco a esa personita que todavía no conozco,
pero que ya me tiene los pelos de punta.

Índice de contenido

Resumen....2
Agradecimientos....3
1. Introducción....6
2. Objetivos....8
2.1. Objetivo General....8
2.2. Objetivos Específicos....9
3. Motivación....9
4. Justificación....9
5. Antecedentes....10
5.1. Ética e ingeniería....10
5.2. Criterios para la toma de decisiones....13
5.2.1. Evaluación de proyectos....13
5.2.2. Evaluación Social....16
5.2.3. Evaluación Tecnológica....17
5.2.4. Engineering for Sustainable Development....18
6. Metodología....21
7. Resultados....24
7.1. Marco Conceptual: Ingeniería....24
7.2. Situación en la FCFM....27
7.3. Relación Ética e Ingeniería....28
7.4. Base Ética Propuesta (BEP)....32
7.5. Criterios FCFM....36
7.5.1. Evaluación de Proyectos....36
7.6. Elaboración de Propuesta....39
7.6.1 Herramienta de Análisis Integral (HAIN)....40
7.7. Caso....43
7.7.1. Antecedentes....44
7.7.2. Irregularidades....47
7.7.3. Impactos positivos en la región....48
7.7.4. El proceso....48
7.7.5. Análisis del caso....54
7.7.5.1. Consideraciones....54
7.7.5.2 Aplicación de la Herramienta de Análisis Integral....54
7.7.5.2.1. Conciencia Social....54
7.7.5.2.2. Reflexión Crítica....55
7.7.5.2.3. Integración....56
7.7.5.2.4. Creatividad....57
7.7.5.2.5. Desarrollo....60
7.7.5.2.6. Bien Común....63
7.7.5.3 Acciones a seguir....65
8 Discusión....66
8.1 Base Ética Propuesta (BEP)....66
8.2 Herramienta de Análisis Integral (HAIN)....68
8.2.1 Conciencia Social....70
8.2.2 Reflexión Crítica....71

8.2.3 Integración....72
8.2.4 Creatividad....73
8.2.5. Desarrollo....74
8.2.6. Bien Común....75
8.3. Caso....76
9. Conclusión....77
10. Bibliografía....79
Anexos....86
Anexo A....86
Anexo B....87
Anexo C....88

Índice de tablas

Tabla 1, Distribución del trabajo relacionado con la planta Valdivia....61
Tabla 2, Distribución de la población según pobreza....62

Índice de gráficos

Gráfico 1, Tasa de pobreza por Comuna, 1994-1998....62

Índice de figuras

Figura 1, Las 3 dimensiones de la Sustentabilidad....19
Figura 2, Esquema metodológico....23
Figura 3, La ingeniería en el mundo económico actual....37
Figura 4, Representación gráfica de la Herramienta de Análisis....40
Figura 5, Algoritmo de las etapas de la Evaluación de Proyectos....41
Figura 6, Esquema representativo de los flujos del proceso....47
Figura 7, Tratamiento Primario de Efluentes....51
Figura 8, Tratamiento Secundario de Efluentes....52
Figura 9, Tratamiento Terciario de Efluentes....53
Figura 10, Ubicación geográfica de la Planta Valdivia....59

1. Introducción

La ingeniería es considerada la más joven de las grandes profesiones, siendo su esplendor algo más tardío que el de la medicina y las leyes. Aún cuando grandes obras de la civilización como las irrigaciones sumerias o los puentes colgantes incas podrían interpretarse, desde un punto de vista moderno, como proyectos de ingeniería, los primeros ingenieros como tales -remitiéndose a la ingeniería moderna occidental- no surgieron hasta el Renacimiento[1]. En ese entonces la actividad ingenieril estaba enfocada principalmente en la elaboración de máquinas de guerra, fortificaciones y construcciones militares. John Smeaton (1724-1792) constructor de puentes, puertos y máquinas utilizó el término ingeniero civil, refiriéndose a su actividad como *"el arte erudito de diseñar y construir obras de paz"*[1].

Otra definición formal de lo que es la ingeniería fue formulada por Thomas Tredgold, fundador junto a Smeaton de *The Institution of Civil Engineering*. Tredgold definió a la ingeniería como "*el arte de aprovechar los recursos de la naturaleza en beneficio del hombre y la sociedad*"[1]. Esto marcó un inicio para la conformación de asociaciones ingenieriles y el reconocimiento de la disciplina como profesión, distinguiéndose de la labor del artesano y de la actividad militar.

Posteriormente, junto con el desarrollo de procesos industriales más complejos y el crecimiento fabril, la ingeniería experimentó grandes cambios y ganó progresivamente prestigio. En 1895, George Morrison, uno de los primeros constructores de puentes de Norteamérica, proyectaba al ingeniero como fuerza principal del progreso humano, llegando a referirse a los ingenieros como *"los sacerdotes del desarrollo material, del trabajo que habilita a otros hombres para gozar de los frutos de las grandes fuentes de la poder de la natural, y el poder de la mente sobre la materia"*[1]. Los ingenieros alcanzaban una posición de importancia, otorgándoseles poder político y económico.

Así, haciéndose de la ciencia y del empirismo para solucionar los problemas de una sociedad occidental urbanizada, cada vez más necesitada de tecnología como forma de progreso, la ingeniería ha logrado una especie de bienestar casi mágico, en donde los sufrimientos a causa de las fuerzas de la naturaleza son una imagen de un pasado distante y arcaico[2]. Grandes innovaciones ingenieriles como la radio, la televisión, la electricidad, el automóvil, la mecanización de la agricultura o la refrigeración han tenido resultados sobre el mundo entero, mejorando en gran medida la condición de vida de las sociedades[3].

Sin embargo, el poder técnico que caracteriza a la ingeniería ha producido impactos negativos a nivel social, ambiental e incluso económico. Si se considera la realidad nacional, se pueden citar ejemplos como la criticada construcción de la central termoeléctrica Castilla[4], la propagación del virus ISA debido a la Industria del Salmón en el sur del país con pérdidas de más de US $ 2000 millones, 15000 empleos e incuantificables daños al ecosistema marino[5], el gigantesco proyecto Hidroaysén con una inversión de US $ 3800 millones enfrentado a la opinión

de la ciudadanía y las organizaciones ambientalistas[6], el temor a la actividad minera de los habitantes cercanos a Pascua Lama[4], los daños a la salud de la población de La Greda[4] o la actividad de la planta de celulosa Valdivia y su cuestionada responsabilidad en la muerte de los cisnes de cuello negro del Santuario Carlos Anwandter. Estos hechos muestran que el mundo pasa por un momento histórico especial, en donde el uso de la técnica posee efectos sobre la sociedad y el entorno antes impensados[7].

Ante ese escenario, en donde el salto tecnológico y las posibilidades de la ciencia y la técnica son tanto benéficas como perjudiciales, es válido preguntar sobre en qué principios se sustenta el proceso de decisiones ingenieriles.

Tanto la ciencia como la ingeniería, han tomado la postura de resolver todos los problemas como si se tratasen de un problema técnico, reduciendo todos los aspectos de la vida al ámbito técnico. Esta postura es la visión de la ideología tecnocrática, la que se puede describir como *"la técnica sin principios, la técnica usada con mentalidad meramente estratégica, que no discute de fines, sino sólo de medios, porque ella se ha convertido en fin en sí misma"*[8]. Ingeniería haciendo ingeniería para la ingeniería tecnocrática. Por otro lado, la labor ingenieril se ha subordinado a las disposiciones del mercado[8]. El ideal de la eficiencia, la búsqueda del beneficio monetario y la minimización de los costos han tomado -en conjunto con el progreso tecnológico como fin en sí- el propósito de la ingeniería, por sobre el beneficio de la sociedad. Hoy, la ingeniería se limita a contestar al criterio técnico-económico.

Debido a esa situación, es que han surgido cuestionamientos, desde la sociedad civil y también entre los mismos ingenieros, sobre la moralidad de los principios en los cuales se fundamenta la toma de decisiones ingenieriles. Autores como Carl Mitcham, reconocido filósofo de la tecnología[9], plantea que dado el poder que se les concede a los ingenieros, lleva en sí responsabilidades especiales debido al nivel de dominio técnico que poseen. Además cuestiona el hecho de que tal responsabilidad este sujeta únicamente a los mandatos del mercado, argumentando que este tipo de decisión es, en sí, ética.

En la misma línea, se encuentra la reflexión del ingeniero peruano Héctor Gallegos, quien afirma que, en la práctica, debido a su asociación con la corrupción de los mundos empresarial y político ha transformado a la ingeniería en *"la ramera del desarrollo destructivo; destructivo del mundo natural, del ambiente y de la socio-economía"*[2].

A esos cuestionamientos, se agregan aquellos provenientes de organizaciones ambientalistas y de consumidores, dirigidos hacia el objetivo de la ingeniería y su relación con el bien común y la sociedad[10]. Estos cuestionamientos constituyen un imperativo moral, obligando a la ingeniería a lidiar con su responsabilidad con la sociedad y la naturaleza, debido al enorme impacto que tienen sus decisiones sobre aquellos. En definitiva, la pregunta que surge es ¿Todo lo técnicamente factible y económicamente rentable, es ingenierilmente aceptable?

Los imperativos morales y la reflexión sobre estos, no son un tema nuevo para Occidente. Desde la Grecia clásica (s. V a. C.) se ha entendido la ética como el arte de tomar buenas decisiones; y desde entonces, todas las teorías éticas se han centrado en investigar las razones y argumentos que hacen que una decisión sea correcta y justa. Esta necesidad de tomar decisiones

cobra una especial relevancia en actividades complejas y de gran impacto para la sociedad como es la ingeniería. Debido a esto es que el estudio de la ética en la ingeniería conlleva a un análisis de los criterios que se usan para tomar decisiones y la ideología -tecnocrática y utilitarista en este caso- que los sustenta[11].

En el caso de la ingeniería civil química, que de acuerdo al *Amerincan Institute of Chemical Engineering* se define como la profesión en la cual el conocimiento de las matemáticas, la química y otras ciencias naturales aprendido gracias al estudio, la práctica y la experiencia es aplicado con juicio para desarrollar formas económicas de la utilización de materiales y energías para el beneficio de la humanidad[12]. En tal proceso, la revisión de la ética es primordial. Debido a los impactos que conllevan los procesos industriales, la creación de nuevos productos, la generación de contaminantes, la investigación y desarrollo; es que los cuestionamiento antes planteados obligan a que esta rama de la ingeniería reflexione sobre el sentido de los medios y la relevancia de sus fines.

En vista de lo anterior es que el proceder de los ingenieros no sólo debe cuestionarse sino que también regularse. Por lo que, su dimensión ética debe atender a la problemática planteada por organizaciones ambientales y de consumidores, así como desde la misma institucionalidad ingenieril[13]. De modo de lograr asumir la responsabilidad de utilizar el creciente poder tecnológico, para que la condición misma de la posibilidad de toda existencia humana, presente o futura, no se vea comprometida[14].

En el caso del presente estudio se estudiará la dimensión ética de los ingenieros de la Universidad de Chile. En particular, los profesionales de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM). De acuerdo al perfil de egreso[15], los ingenieros de la FCFM deben ser capaces de comprender su rol social y comportarse éticamente. Por lo que un estudio de la ética en la ingeniería dilucidaría los alcances de lo que significa este comportamiento ético, tanto en la justificación de las decisiones tomadas como en el ejercicio de la profesión. El análisis de la dimensión ética de la ingeniería pasa tanto por la compresión de los valores que justifican sus acciones, de cómo las regulan y también de la manera en que tales principios forman parte del proceso educativo ingenieril.

2. Objetivos

El presente trabajo tiene como principal objetivo el hacerse cargo de la problemática ética en la ingeniería civil química, considerando la urgencia de la revisión de este aspecto ante el actual impacto de la tecnociencia y la economía, y comprender los alcances de un comportamiento ético en la práctica ingenieril en el caso de la FCFM.

2.1. Objetivo General

- Analizar la ética de la ingeniería civil química y su relación con los criterios para la toma de decisiones ingenieriles.

2.2. Objetivos Específicos

- Establecer los principios valóricos de una ética para la ingeniería civil química, de modo que se responda a la exigencia moral que se realiza desde la sociedad civil, las organizaciones de ingenieros y al perfil de egreso de la FCFM.

- Determinar las implicancias de los principios propuestos en los actuales criterios para la toma de decisiones ingenieriles. En función de esto, definir una metodología para la toma de decisiones consecuente con los principios establecidos.

- Estudiar las consecuencias de esta metodología ante un caso que suponga un dilema ético para la ingeniería civil química, tomando en cuenta los principios valóricos planteados.

3. Motivación

La formación de los ingenieros en la FCFM se centra en que se vuelvan excelentes profesionales del campo técnico y económico[15]. Sin embargo, pocas veces durante este proceso, se responde a lo que significa ser un ingeniero. Se les enseña cómo solucionar problemas, cómo administrar y cómo desarrollar complejos sistemas tecnológicos. Pero rara vez se comenta sobre la naturaleza de los problemas que deberían resolver.

Si bien la ingeniería se trata de una profesión vinculada a la ciencia y a la tecnología, no se puede obviar el hecho de que es una actividad humana y, como tal, tiene aspectos que van más allá de lo puramente racional y objetivo. Los hombres y mujeres que desempeñan esta profesión toman decisiones todo el tiempo, desde qué proyecto desarrollar hasta el como relacionarse con sus compañeros de trabajo y en este sentido lo valórico tiene gran importancia. El problema se vuelve más complejo si se consideran los ejes que ha profesa la Universidad de Chile desde su fundación y la relación de estos con la labor con los profesionales egresados de esta casa de estudios.

Por ello es que las decisiones ingenieriles y los criterios que las apoyan deben estar en concordancia tanto con los principios valóricos de esta casa de estudios, como con las exigencias impuestas por la sociedad y por los cuestionamientos surgidos desde las mismas instituciones ingenieriles. Esto además debe verse reflejado en la formación ingenieril, estableciéndose explícitamente los valores que los ingenieros de la FCFM representan.

4. Justificación

El aumento de proyectos ingenieriles enfrentados a la opinión de la ciudadanía, la destrucción indiscriminada del medio ambiente y el abuso de las malas prácticas, ponen en duda

la reputación de la profesión de la ingeniería y su posición dentro de la sociedad como solucionadora de problemas. En este contexto, el cuestionamiento de la actual ética que domina a la ingeniería aparece como una necesidad desde el interior de la misma y ,además, como una demanda impuesta como un intento para definir su propia naturaleza, recuperando en ello su legitimidad ante la sociedad.

Además, si consideramos la ingeniería como la fuerza motriz de la tecnología, es necesario que esta se haga cargo de los nuevos riesgos que aparecen con el desarrollo y la investigación tecnológica en áreas que se enfrentan a los límites de la acción humana, como los riesgos de la energía nuclear. Surge entonces desde el mismo ámbito tecnológico, la exigencia de un cuestionamiento ético, contradiciendo el mito de la exclusión de la ética y los valores dentro del ámbito tecnocientífico.

Una ética para la ingeniería debe ir más allá de la proposición de generalidades, códigos profesionales y modelos de buenas conductas. Una ética para la ingeniería debe esforzarse para poder hacerse cargo de cuestiones sobre el desarrollo inteligente de la naturaleza, determinismo tecnológico, acceso a la profesión, conflictos e iniquidades provocados por el desarrollo tecnológico, sustentabilidad mundial, riesgo y seguridad de los nuevos procesos[16].

Tal preocupación se ve reflejada en los trabajos de autores como Mitcham y Gallegos, así como en las organizaciones de ingeniería que han desarrollado códigos éticos y cánones de comportamiento. A nivel nacional, Marcos García de la Huerta, co-autor del texto *La ética en la profesión de ingeniero*, manifiesta la falta de estudios comprendidos en este ámbito y de como la ingeniería a quedado a disposición de las exigencias del mercado, siendo regulada únicamente por la rentabilidad de sus acciones[17].

En vista de lo anterior es que es más que imperativo analizar la componente ética de la ingeniería civil química, una de las profesiones que resalta por su relación de los procesos con el medio ambiente, y la de sus productos con la sociedad. Es necesario que la ética de la ingeniería sea develada, estudiada y verificada, en esta repensada matriz ingenieril. De modo de establecer un equilibrio -no uno estático, sino que uno dinámico- un equilibrio químico, al ritmo del latir tecnológico, entre el bienestar social y la naturaleza.

5. Antecedentes

Es de importancia para el desarrollo de este trabajo contar con una visión de trabajos desarrollados en el contexto de ética e ingeniería. Adicionalmente es necesario comprender los criterios que sustentan diferentes mecanismos de toma de decisiones en la profesión.

5.1. Ética e ingeniería

A continuación se describirán algunas posiciones de instituciones de importancia en el país en cuanto a la ética de la ingeniería.

El Colegio de Ingenieros que ha intentado dar una aproximación de lo que se espera de la ética en la ingeniería. En su Código de ética, elaborado en 1998, menciona lo siguiente:

El ingeniero debe siempre tener presente que la sociedad delega en él una gran responsabilidad, encargándole la realización de sus más importantes proyectos, o bien designándolo en funciones relevantes. Por lo tanto, es un deber del ingeniero extremar constantemente su celo profesional, para que el resultado de su trabajo se traduzca en el mayor beneficio en favor de la sociedad que depositó en él su confianza[18].

El Código se centra en establecer el cómo deben ser las relaciones entre los ingenieros (ámbito interno) y como debe ser el trato con los demandantes, clientes y sociedad. Asimismo, se destaca la importancia de un correcto ejercicio, lo que también es descrito. Sin embargo, este código solamente es válido para los afiliados al Colegio, perdiendo fuerza tras la derogación de la ley que establecía que esta afiliación a los colegios profesionales fuese obligatoria . Así, se privó a las órdenes respectivas del único instrumento de control de que disponían sobre el ejercicio de sus respectivas profesiones[17].

Por otra parte, el Instituto de Ingenieros, fundado en 1888, también ha estudiado esta situación. En uno de sus diversos informes dedicados a la formación ética y la educación, estipula:

Las competencias técnicas que contribuyen a desarrollar las facultades de ingeniería deben ir acompañadas de un soporte valórico apropiado, única forma de hacer de la Ingeniería un recurso de avance socio-económico sustentable[13].

A pesar de no ser posturas vinculantes u obligatorias para los ingenieros del país, marcan un precedente para un cuestionamiento de lo que la ética implica para y en la ingeniería. Es posible notar algunos tópicos comunes entre estas dos posiciones, puesto que ambas manifiestan la importancia de una base valórica para un ejercicio de la profesión en sintonía con la sociedad a la cual se vincula, a través de la responsabilidad y la confianza.

En este sentido, las instituciones formadoras de ingenieros tienen una importante tarea. Ya que no basta con educar a un ingeniero en matemáticas, física o química, si este no está en sintonía con lo que la sociedad requiere, a través de la identificación de su rol y desarrollo de la conciencia social.

Otro documento que estudia las implicancias éticas en el ejercicio de la ingeniería, es el texto *Manual de Ética para Ingeniería*, elaborado por la institución DuocUC[19]. El manual propone cómo se debe actuar éticamente frente a un dilema profesional, entrega contextos reales que sirven de base para el desarrollo de -según el manual- destrezas de comportamiento y considera a la ética una herramienta de despliegue positivo de actitudes personales en la actividad profesional y que actualmente inciden en forma crítica en la productividad. Este manual no solo enseña guías o principios valóricos sino que también enfrenta al estudiante a dilemas éticos en diferentes aspectos de la carrera, como la relación con los clientes o fidelidad con la empresa, siendo parte de un proyecto de formación general de los estudiantes de DuocUC. Es relevante señalar que este manual fue pensado para la ingeniería de automatización de procesos industriales y mecánica automotriz y autotrónica, contando con dilemas éticos de estas áreas.

La Universidad Técnica Federico Santa María, UTFSM, posee un código de ética para todos los profesionales egresados de sus carreras, los que deberán comprometerse a través de su firma del cumplimiento del decálogo de ética profesional de su casa de estudio. El hecho de que el documento sea firmado muestra que los profesionales toman conocimiento de la existencia de los principios rectores de su conducta según su casa de estudios. El primer punto es el que más destaca, puesto que enfatiza la importancia de tomar decisiones consistentes con la ética y rol de la universidad:

1. *Ser responsable al tomar decisiones profesionales para que éstas sean consistentes con la seguridad, salud y beneficio de la sociedad, dando a conocer prontamente aquellos elementos que puedan poner en riesgo a la gente o el medio ambiente*[20].

El resto del decálogo menciona reglas como ser honesto, evitar conflictos de interés y otras buenas prácticas. Se desconoce sobre si esto también tiene importancia dentro del plan de cursos y la formación de los ingenieros de esta universidad.

Por su parte el Área de Desarrollo Docente (ADD) de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM) de la Universidad de Chile, y el Área de Humanidades de la misma facultad han comenzado a trabajar en este ámbito revisando este eje a través de los cursos formadores a los que se ven sometidos los estudiantes de plan común de ingeniería civil.

El ADD en conjunto con el Área de Humanidades exponen la competencia en ética profesional de la FCFM fundados en la Misión de la Universidad de Chile, como:

Conjunto de conocimientos y habilidades que buscan el desarrollo de la conciencia social y reflexión crítica para un ejercicio responsable de la profesión. Esta se orienta a atender integral y creativamente las necesidades de una sociedad global, diversa y compleja. Dicho ejercicio profesional se caracteriza por un activo compromiso con el bien común y el desarrollo integral, equilibrado y sostenible del país.

Esta definición no sólo es una base de apoyo para el ejercicio de la ingeniería desde la perspectiva de lo que implica ser un egresado de la Universidad de Chile, sino que también es un reto que invita a los ingenieros a que vayan más allá. Que sean capaces de encontrar soluciones que integren tanto la técnica y la ciencia, considerando el rol social y la responsabilidad con el medio ambiente, en pro del beneficio de la sociedad en su totalidad. Por lo anterior, es que lo descrito por el ADD y el Área de Humanidades se considerará aquí como propuesta de la FCFM. Constituyendo un insumo de importancia para la elaboración de la base ética para los ingenieros civiles químicos de la Universidad de Chile.

Como apoyo bibliográfico en el ámbito de la relación entre ética e ingeniería se considerará el libro *Ética para ingenieros*, una suerte de manual para los que deseen analizar este aspecto. El texto se caracteriza por ser de fácil lectura para aquellos que no son expertos en ética, y tener esta estructura de paso a paso, en donde la variante ética es analizada poco a poco, citándose diferentes escuelas, incitando al lector a pensar en sus propios valores con la ayuda de ciertos ejercicios al final de cada unidad. Agrega a la discusión aspectos de la ciencia y tecnología, constituyendo una fuente bibliográfica de suma importancia para este trabajo[8].

También destacan como apoyo bibliográfico los trabajos de Deborah Johnson[7], W.M. Wulf[3], Norman Augustine[16], quienes discuten sobre la necesidad creciente de una nueva base valórica para la ingeniería, que la haga responsable de los avances tecnológicos y de los efectos impredecibles de esto;, especialmente, aquellos avances que tiene consecuencias sobre la humanidad. Por su parte, el trabajo de Johnson enfatiza sobre la relación entre ciencia, ingeniería y ética, y sobre cómo estas *negocian* para encontrar un punto de equilibrio; además de la importancia de una ética de la anticipación que sirva de directriz al desarrollo tecnológico, de modo de responder al riesgo que conllevan las nuevas tecnologías y ligar las ciencias y la tecnología a la sociedad. Augustine cita varios ejemplos en donde los ingenieros dan una solución técnica a dilemas éticos, como consecuencia de su incapacidad para discernir las cuestiones morales y valóricas de su profesión, siendo esta la principal causa de la existencia de malos ingenieros -malos en el sentido de incompetentes, ineficaces. El autor afirma que las decisiones ingenieriles sí pasan por el plano ético además del técnico. En cuanto al texto de Wulf, destaca en este el concepto de decisiones macro-éticas y micro-éticas, las que se diferencian según el alcance social de las consecuencias de la decisión. Por ejemplo, las decisiones micro-éticas tienen consecuencias sobre un cliente en particular; mientras, las decisiones macro-éticas tienen efectos sobre grupos más grandes o la sociedad misma.

No con el mismo objetivo, pero sí de interés para este trabajo, puesto que plantea un método de análisis desde la ética, cabe mencionar los Informes Ethos realizados por el Centro de Ética de la Universidad Alberto Hurtado publicados periódicamente desde 1999[21]. En estos informes se discute sobre temas de interés nacional, para ayudar en el discernimiento moral responsable con vistas a una acción coherente. Para tales efectos, se adopta el método ignaciano del triple paso: experiencia (hecho) - reflexión (su comprensión e implicaciones éticas) - acción (elementos para el discernimiento), conformando una reflexión sobre la experiencia con miras a una acción consecuente. Este método facilita el estudio del caso y la determinación del dilema ético, por lo que se considera adoptar su estructura para la metodología a proponer.

5.2. Criterios para la toma de decisiones

Es de importancia para este trabajo, la revisión de los principios que existen tras los criterios para la toma de decisiones ingenieriles. Esto se debe a que en esos principios es en donde se aprecia más claramente la dimensión ética de la profesión, es decir, el cómo la ingeniería se hace cargo de su rol y en base a qué valores.

A continuación se describirán los siguientes criterios debido a su relación con la ingeniería: Evaluación de Proyectos, Evaluación Social, Evaluación Tecnológica y una guía para la toma de decisiones ingenieriles en base a la sustentabilidad elaborada por la *Royal Academy of Engineering*.

5.2.1. Evaluación de proyectos

La evaluación de proyectos es el actual criterio enseñado en la FCFM. Este criterio es enseñado en un curso del mismo nombre, común a todas las ingenierías enseñadas en la Facultad.

Es semestral y es impartido por el Departamento de Ingeniería Industrial (DII).

Este criterio busca dar solución a la asignación de recursos escasos en forma óptima. Entendiéndolo más concretamente: la Evaluación de Proyectos recomienda al tomador de decisiones, a través de distintas metodologías, determinar la conveniencia relativa de una acción o proyecto establecido se realice por sobre otras opciones. Para ello identifica, mide y valoriza, cuantitativa y cualitativamente, los beneficios y costos para la(s) persona(s) o instituciones relevantes[22]. Establece como criterio que una inversión será rentable si permite un aumento de riqueza, que el que se podría obtener utilizando los recursos en otras inversiones alternativas. Además define a la factibilidad técnica como los aspectos de mercado, la tecnología, el tamaño y la localización del proyecto, las condiciones institucionales y legales relevantes para el proyecto; incluyendo equipos, materias primas y procesos, que permiten determinar los costos del proyecto. [22]

La metodología posee 3 pasos básicos: preinversión, inversión y operación. Durante la preinversión se prepara y evalúa el proyecto de modo de obtener el máximo excedente económico a lo largo de su vida útil; realizando para esto estudios económicos, de mercado, técnicos, financieros y otros. En la etapa de inversión, el proyecto es diseñado y materializado según lo especificado en la etapa anterior. Por último en la etapa de operación se pone en marcha el proyecto y se concretan los beneficios netos que fueron estimados previamente[22].

La selección de los mejores proyectos de inversión, es decir, los de mayor conveniencia relativa y hacia los cuales deben destinarse los recursos disponibles, constituye un proceso que sigue las etapas iterativas: generación de análisis de la idea de proyecto, estudio en el nivel de perfil, estudio de pre factibilidad y estudio de factibilidad. La secuencia iterativa tiene por justificación evitar los elevados costos de los estudios y poder desechar en las primeras etapas los proyectos que no son adecuados. Cada etapa se presenta en la forma de un informe, cuyo objetivo fundamental es presentar los elementos que permiten comparar la conveniencia de cada idea de proyecto.

1.- Generación de análisis de la idea de proyecto: el objetivo de la primera etapa es establecer la magnitud del proyecto, a quiénes esta destinado, alternativas posibles y la confiabilidad de la información utilizada. De este análisis se precisará el bien o servicio que se pretende diseñar. Todo esto servirá para adoptar la decisión de abandonar, postergar o profundizar la idea de proyecto.

2.-Nivel de perfil: en esta etapa se recopilarán antecedentes que permitan formar juicio respecto a la conveniencia y factibilidad técnico-económica de llevar a cabo la idea de proyecto. Este estudio incluye identificación de beneficios y costos preliminares, así como las estimaciones gruesas de los mismos. Se decide abandonar, postergar o profundizar el proyecto.

3.- Estudio de prefactibilidad: se busca examinar con mayor detalle las alternativas viables desde el punto de vista técnico y económico que fueron determinadas en la etapa anterior, descartándose las menos atractivas. Es necesario estudiar con especial atención el análisis de factibilidad, es decir, analizar los aspectos de mercado, la tecnología, el tamaño y la localización del proyecto, las condiciones institucionales y legales relevantes para el proyecto. Con esto se podrán estimar los montos de inversión, costos de operación e ingresos que generaría el proyecto

durante su vida útil, lo que se utiliza para la evaluación económica y para determinar las alternativas más rentables. En función de ello, se decide realizar el proyecto o postergar, abandonar o profundizar el proyecto.

4.- Estudio de factibilidad: esta última etapa se enfoca en un análisis aún más detallado y preciso de la alternativa que se ha considerado más viable en la etapa anterior. Se busca medir y valorar los beneficios y costos de la alternativa, tomando importancia los flujos financieros y la programación de las obras. Esta etapa es la conclusión del proceso de aproximaciones sucesivas en la formulación y preparación de un proyecto, y constituye la base de la decisión respecto a su ejecución.

La metodología planteada posee algunas limitaciones: no siempre es posible considerar y valorar adecuadamente todos los efectos de un proyecto, incapacidad para integrar intangibles, imposibilidad de considerar y valorar las condicionantes del desarrollo de un proyecto (riesgo), desconocimiento de la reacción de la competencia, entre otros factores.

También la evaluación depende de quien la efectúe. Se diferencian en este sentido la evaluación privada, que se realiza desde la perspectiva de un agente económico privado o individual (persona, empresa, grupo, etc.); y la evaluación social, que se efectuá desde la perspectiva del conjunto país (sociedad). Además se distinguen según el momento en que se realice, teniéndose la evaluación *ex-ante,* llevada a cabo durante el período de preinversión, entregando una recomendación sobre la conveniencia del proyecto; y la evaluación *ex-post,* realizada una vez ejecutado el proyecto, usada para estimar los verdaderos beneficios del proyecto.

Para efectuar comparaciones entre las alternativas generadas, la evaluación de proyectos se vale de indicadores y herramientas financieras. Los indicadores más utilizados son el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Período de Recuperación del Capital (PRC) y el Índice de Rentabilidad (IR). A continuación se detallaran el VAN y la TIR por ser los más utilizados[23].

El VAN es entendido como la suma algebraica de los flujos positivos y negativos de un proyecto; sobre todo, de la detracción de la inversión. Esta herramienta permite hacer equivalencias entre recibir o hacer un pago hoy o en el futuro, basándose en la tasa de rentabilidad o retorno del tomador de decisiones. Para tales efectos, la ecuación del VAN es la siguiente:

$$VAN = F_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \ldots \quad \texttt{ecuación 1}$$

O lo que es lo mismo:

$$VAN = \sum_{i=0} \frac{F_i}{(1+k)^i} \quad \texttt{ecuación 2}$$

Donde F representa los flujos de caja en el período i, y k simboliza a la tasa de retorno de

los inversionistas. Está tasa es comparable al interés que se recibiría al colocar la inversión en un banco[24]. En el fondo el VAN permite medir el aporte económico de un proyecto a los inversionistas. Esto significa que refleja el aumento o disminución de la riqueza de los inversionistas al participar en los proyectos. De ahí que la regla de oro de la evaluación de proyectos sea la maximización del VAN[23].

Algunas de las ventajas del VAN frente a otros indicadores, es que es muy fácil de aplicar, reconoce que un peso hoy vale más que un peso en el mañana, permite hacer un ranking de proyectos y además es posible integrar factores de riesgo y tiempo.

Por otro lado la TIR representa la rentabilidad intrínseca de un proyecto. En términos práctios, la TIR se define como aquella tasa que hace que el VAN del proyecto sea 0. De acuerdo a esto la regla de decisión es escoger aquel proyecto cuya TIR sea mayor que la tasa de retorno de los inversionistas[24]. La ecuación de la TIR es la siguiente:

$$0 = \sum_{i=0} \frac{F_i}{(1+TIR)^i} \quad \text{ecuación 3}$$

Donde *F* representa los flujos de caja en el período *i,* y *TIR* es la Tasa Interna de Retorno. Sin embargo la TIR posee algunas limitaciones. No permite la comparación de proyectos de diferente duración temporal, no permite evaluar proyectos que incluyan financiamiento y no permite comparar proyectos que posean diferente nivel de riesgo.

5.2.2. Evaluación Social

Otro manera de asignar los recursos es la evaluación social. En este caso, la evaluación se realiza desde el punto de vista de todo el país, teniendo como objetivo identificar, medir y valorizar los beneficios y costos de un proyecto para el Bienestar Social. Por ello es que es de suma importancia para la evaluación social, el poder incluir todos los efectos que provoca un proyecto, tanto positivos y negativos; como tangibles e intangibles, sobre todos los agentes sociales[23].

Esto significa que, frente a la evaluación de proyectos que evalúa para un privado, el enfoque social es básicamente un enfoque agregado: el impacto neto es la suma de los impactos que reciben cada uno de los involucrados. Si esta suma neta da positiva, el proyecto es socialmente conveniente, independientemente del hecho de que algún grupo involucrado pierda con el proyecto. Luego, la evaluación social intenta responder las siguientes preguntas ¿Genera el proyecto riqueza neta para la sociedad? Y, en segundo lugar, ¿Quién recibe esa riqueza?[23].

La generación y distribución de riquezas y la determinación efectiva de tales a causa de un proyecto u otro, constituye el punto crítico de la evaluación social. Debido a esto es que se han formulado diferentes teorías[23] para formular una *función de bienestar social* que sirva para representar las preferencias entre estados alternativos de la economía. Esta afirmación lleva a más preguntas sobre la función: ¿a quiénes representa?, ¿qué preferencias?, ¿cómo deben ser

medidas?

Sin embargo, esas preguntas permiten que la evaluación social incluya efectos que la evaluación de proyectos no considera, por no ser relevantes para el inversor privado. Entre estos efectos se listan los efectos que genera de manera directa el proyecto sobre el mercado de los bienes que produce o el mercado de los insumos que consume. También se tienen los efectos indirectos que se tiene sobre los mercados de los bienes o insumos sustitutos o complementarios de los que proyecto produce o consume[23].

Además, la evaluación social toma en cuenta otros efectos como los impactos que se generan fuera del ámbito del proyecto, pero dentro de la sociedad que evalúa. O aquellos efectos de distribución como la transferencia tecnológica, impactos sobre la equidad o la sostenibilidad en el tiempo del proyecto. La evaluación social también intenta hacerse cargo de aquellos efectos intangibles, es decir, aquellos que por su naturaleza son difíciles de medir o valorar.

Dado el nivel de profundidad que suelen tener los proyectos sociales, ya sea por los estudios necesario, participación ciudadana o el cálculo de la tasa de rentabilidad social; es que se hacen en casos especiales. Cuando el agente económico dueño del proyecto es el conjunto de la sociedad, que se supone representada por el Gobierno y sus organismos centrales y descentralizados que ejecutan proyectos y también cuando se trata de recursos cuya asignación compete a la sociedad, como lo pueden ser proyectos viales, distribución de agua, entre otros.

5.2.3. Evaluación Tecnológica

La evaluación de los sistemas permite conocer si el proyecto en cuestión es viables de acuerdo a la disponibilidad de recursos materiales y técnicos; si es rentable, si genera ganancias o pérdidas. Evaluándose no solo los resultados obtenidos, sino que además los efectos sociales y medioambientales que la operación de dicho proyecto implica al entorno, tanto en el momento de su aplicación como a futuro[24]. Este tipo de Evaluación esta orientado a analizar mejoras a tecnologías existentes, introducción de nuevos productos al mercado y desarrollo de procesos.

Esa información fundamenta la toma de decisiones, la participación ciudadana y de los actores sociales que intervienen en las diferentes fases de los procesos ya sea en su elaboración, en el uso o en los residuos de los sistemas técnicos. Esto permitirá prever costos y consecuencias.

Los sistemas técnicos se pueden evaluar en dos dimensiones: interna y externa. Ambas evaluaciones se integran en la toma de decisiones, mismas que pueden influir en el desarrollo e innovación tecnológica en la comunidad, la región, el país y del mismo planeta.

La evaluación interna comprende los factores de eficacia, factibilidad, eficiencia y fiabilidad del sistema mismo. A continuación se define cada factor.

- Eficacia: está en relación a los fines buscados y los resultados imprevistos, el sistema puede resultar eficaz porque logra todos los objetivos, pero no eficiente por los resultados

no deseados. Se responde a la pregunta ¿Se logran alcanzar las metas deseadas?

- Factibilidad: ¿Qué tan realizable es? Se recomienda efectuar un análisis de las posibilidades de construcción del proceso y su adecuación a los criterios establecidos.

- Eficiencia: es la medida en que coinciden los objetivos del proyecto con los resultados esperados.

- Fiabilidad: este factor está en relación a la estabilidad de la eficiencia del sistema. Un sistema es fiable en cuanto que de manera continua se logran las metas y resultados esperados.

La evaluación externa comprende los factores asignados por los usuarios del sistema y de la sociedad. Algunas de los factores que se pueden incluir en la evaluación externa son: económicos, culturales, éticos, políticos, naturales y salud.

Luego, la evaluación tecnológica entrecruza la dimensión interna con la externa, de modo de contextualizar el desarrollo de los procesos, prestando atención a todos los elementos que interactúan en el sistema. A modo de ejemplo, se incluye un recuadro con la evaluación tecnológica de las bolsas de papel en el Anexo A.

5.2.4. Engineering for Sustainable Development

Ante la creciente preocupación de la sociedad por los efectos sobre la naturaleza, principalmente en el largo plazo y, por lo tanto, en el desarrollo futuro, es que la *Royal Academy of Engineering*, de Gran Bretaña, elaboró el 2005, una guía de ingeniería para el desarrollo sustentable[25].

El gran objetivo que se plantea en la guía es que la esfera social, que comprende el capital humano y las consideraciones sociales; la ecológica que corresponde a los recursos naturales y las respuestas del medioambiente; y la técnico-económica, referida a los sistemas económicos y técncios; se mezclen cada vez más, de manera que las restricciones de cada una se vayan relacionando de modo que las esferas se vuelvan una. Visto de otro modo, el fin es que el desarrollo de cada esfera se relacione estrechamente con el desarrollo de las otras esferas, de modo que el desarrollo sustentable se alcance cuando estas esferas se superpongan unas con otras (ver figura 1).

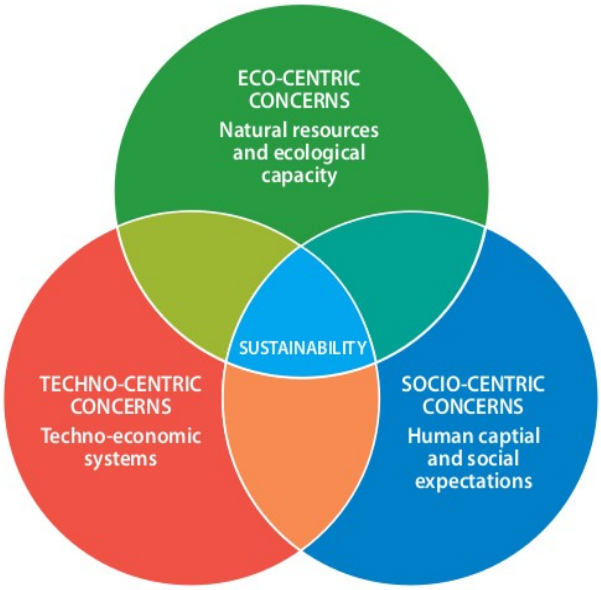

Figura 1, Las 3 dimensiones de la Sustentabilidad, extraído de Engineering for Sustainable Development[25]

El enfoque de la guía es de 3 pasos. Primero, se propone el análisis de lo que significa sustentabilidad en ingeniería, para lo que se estudian casos reales en diferentes áreas de la ingeniería: civil, química y eléctrica. En segundo lugar, se elaboraran principios para el desarrollo sustentable en la ingeniería, definiendo las consecuencias que estos principios tendrán en análisis, síntesis, diseño y ejecución del proceso ingenieril. Por último, se discutirán los principios, luego de su aplicación a los casos reales antes analizados.

De acuerdo al enfoque, los principios guías de la ingeniería para son los siguientes (traducidos de [25]):

1.- Mira más allá de tu propia localidad y futuro inmediato

2.- Innova y se creativo

3.- Busca una solución equilibrada

4.- Busca el acuerdo de todas las partes interesadas

5.- Asegúrate de conocer las necesidades y preferencias de las partes interesadas

6.- Planifica y gestiona efectivamente

7.- Ante la duda, da la preferencia a la Sustentabilidad

8.- Si los contaminadores deben contaminar... entonces se debe pagar

9.- Adopta un enfoque holístico, incluyendo el ciclo de vida del proyecto

10.- Haz las cosas bien, después de haber decidido lo correcto a hacer

11.- Ten cuidado con las reducciones de costos que se disfrazan de ingeniería de valor

12.- Práctica lo que predicas

La aplicación práctica de los principios tiene, de acuerdo a la guía, gran relevancia en la toma de decisiones ingenieriles. Ya sea en el diseño de procesos o productos, disposición de infraestructura o en la gestión de una empresa. La toma de decisiones se estudiará en función de criterios de ciclo de vida de proyectos. De acuerdo a esto, se consideran 5 grandes etapas:

- Definición de requisitos
- Alcance de la decisión
- Planificación y diseño
- Implementación, entrega y operación
- Fin de la vida útil

El enfoque de las 2 primeras etapas tiene a ser más participativo y cualitativo, mientras que la etapa de Planificación y Diseño, suele ser más estratégico y analítico. La etapa de Implementación, Entrega y Operación es gerencial y cuantitativa. El contacto entre los requisitos de los usuarios y las partes interesadas nunca debe perderse a lo largo del proceso.

Durante la Definición de requisitos, se busca determinar las necesidades o los resultados deseados. Para lograr la Definición se deben describir el problema o cuestión que se enfrenta en su contexto general y agregando los límites de la toma de decisiones. Así, se comienza a considerar qué es aceptable construir o fabricar y qué no. En esta etapa el enfoque holístico es preponderante, así como la capacidad de ver más allá de la localidad y el futuro cercano.

El Alcance de la decisión es la etapa donde se definen los objetivos del proyecto. De acuerdo a la guía es importante que dentro de estos objetivos se tome en cuenta el desarrollo sustentable, siendo este la mayor condicionante de los proyectos. Los principios como la búsqueda de acuerdo entre las partes interesadas, el enfoque holístico y la restricción económica a

la contaminación, serán también restricciones de importancia del proyecto.

En la etapa de Planificación y Diseño, se decide el curso de acciones a seguir para poder concretar los objetivos del proyecto. No solamente se debe buscar la eficiencia, o la disminución de los costos en las actividades definidas, sino que además la minimización de los impactos negativos en el medio ambiente y la sociedad.

A pesar de ser una etapa separada, el Fin de la vida útil, es algo que no se debe olvidar durante el Diseño y la Planificación. Parte importante de lo que significa el desarrollo sustentable, según la guía, es la inclusión de lo que ocurre con el proyecto una vez que se dejan de reportar beneficios por este. Parte de las consideraciones de Diseño deben ser el desmantelamiento, y el re-uso y reciclaje de recursos usados en el producto o infraestructura.

La etapa de Implementación, Entrega y Operación envuelve la puesta en marcha de los proyectos, la construcción de la infraestructura, y la desarrollo real y material de los productos. Las limitaciones impuestas por la sustentabilidad corren el peligro de relajarse u obviarse por prácticas relacionadas a la reducción de costos. Los principios de la sustentabilidad tienen que ser aplicados en cada etapa de la ingeniería.

En este sentido el principio 10, *Haz las cosas bien, después de haber decidido lo correcto a hacer*, cumple un papel vital. Obligando a que se mantenga el foco en la sustentabilidad por sobre otros criterios.

La última etapa plantea el retorno de los recursos usados en la infraestructura, el producto o el proceso al medio ambiente, luego de terminada su vida útil. Esto se puede hacer a través del reuso, reciclaje, absorción o disposición, actividades cruciales en el desarrollo sustentable.

6. Metodología

La metodología a seguir se representa en la figura 2. Para lograr entender la relación entre ética e ingeniería, es necesario definir esta profesión. Para ello se recopilarán definiciones de ingeniería de fuentes como el AIChE, Colegio de Ingenieros de Chile, Instituto de Ingenieros. Adicionalmente se realizará una breve búsqueda bibliográfica de modo de complementar y lograr obtener una visión histórica de la ingeniería. Se agregará a estas definiciones la visión de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, información dispuesta en su página web (elipses celestes en la esquina superior de la figura). Con todo esto se configurará una definición de ingeniería.

A continuación se establecerá la relación de estas definiciones con el concepto de bien común, punto de partida para distinguir la dimensión ética en los criterios usados para la toma de decisiones ingenieriles. Para ello será necesario además contar con nociones sobre ética, para lo cual se revisarán algunas escuelas éticas. En este aspecto el texto *Ética para ingenieros* posee información y referencias bibliográficas suficientes.

Una vez comprendida la dimensión ética en la ingeniería (señalado como Relación

Ingeniería-ética, en celeste, figura 2), se caracterizarán los criterios usados en la FCFM. Para ello se revisará principalmente el perfil de egreso de la Escuela de Ingeniería y Ciencias (primer cuadrado verde en la figura 2).

Para definir una base de principios valóricos para los ingenieros civiles químicos (sector amarillo en la figura 2), se analizarán las exigencias morales realizadas desde la sociedad civil. Los principios se basarán en la competencia ética formulada por el ADD y el Área de Humanidades, la que además se hace cargo de la misión de la Universidad de Chile, acercándola a la ingeniería.

La base ética será complementada con la visión de otras escuelas de ética, lo que debe justificarse argumentando que responde a la exigencia moral que se realiza al desarrollo técnico o bien a algún otro criterio que parezca pertinente. Además se revisarán textos de autores como Mitcham, en donde se cuestionen los principios rectores de las decisiones ingenieriles.

Antes de generar un criterio se compararán los principios valóricos de los actuales criterios que justifican las acciones ingenieriles con la base propuesta. Para esto se detallarán las características éticas de la Evaluación de Proyectos, principal herramienta para la toma de decisiones ingenieriles (recuadro denominado Comparación Criterios/Base en la figura).

En función de esta comparación se elaborará un criterio que complemente el criterio usado por la Evaluación de Proyectos (recuadro Alcances de la propuesta en figura 2). Para esto se realizará una búsqueda bibliográfica sobre sistemas de toma de decisiones, de modo de contar con antecedentes de otros criterios. Además del funcionamiento de los sistemas contenidos en los antecedentes se debe contar con la motivación de los mismos o, en lo posible, los principios valóricos que los rigen.

La propuesta complementaria para la toma de decisiones debe estar en concordancia con la base ética propuesta. Con esto como restricción, se tienen que establecer las consideraciones del sistema de toma de decisiones propuesto. El criterio puede basarse íntegramente en alguno de los otros criterios expuestos como antecedentes. Esta opción dependerá de la motivación o los principios valóricos que sustentan al o los sistemas escogidos. La formulación de la propuesta debe incluir su justificación, principios orientadores, criterios y metodología para la toma de decisión (recuadro Formulación Propuesta en figura).

Para entender en la práctica la base valórica y los criterios propuestos, se analizará un caso que suponga un dilema para la base ética definida y que además sea de interés para la ingeniería civil química (sector anaranjado en la figura 2).

El análisis contempla la contextualización del caso, incluyendo datos técnicos, informes públicos como Estudios de Impacto Ambiental, información presente en medios de comunicación y datos adicionales requeridos para la correcta utilización del sistema propuesto. El análisis conllevará a la proposición de acciones a seguir, coherentes con el criterio propuesto.

Finalmente se determinarán las consecuencias de la o las soluciones alternativas, de modo de precisar las diferencias entre el criterio propuesto y la situación real.

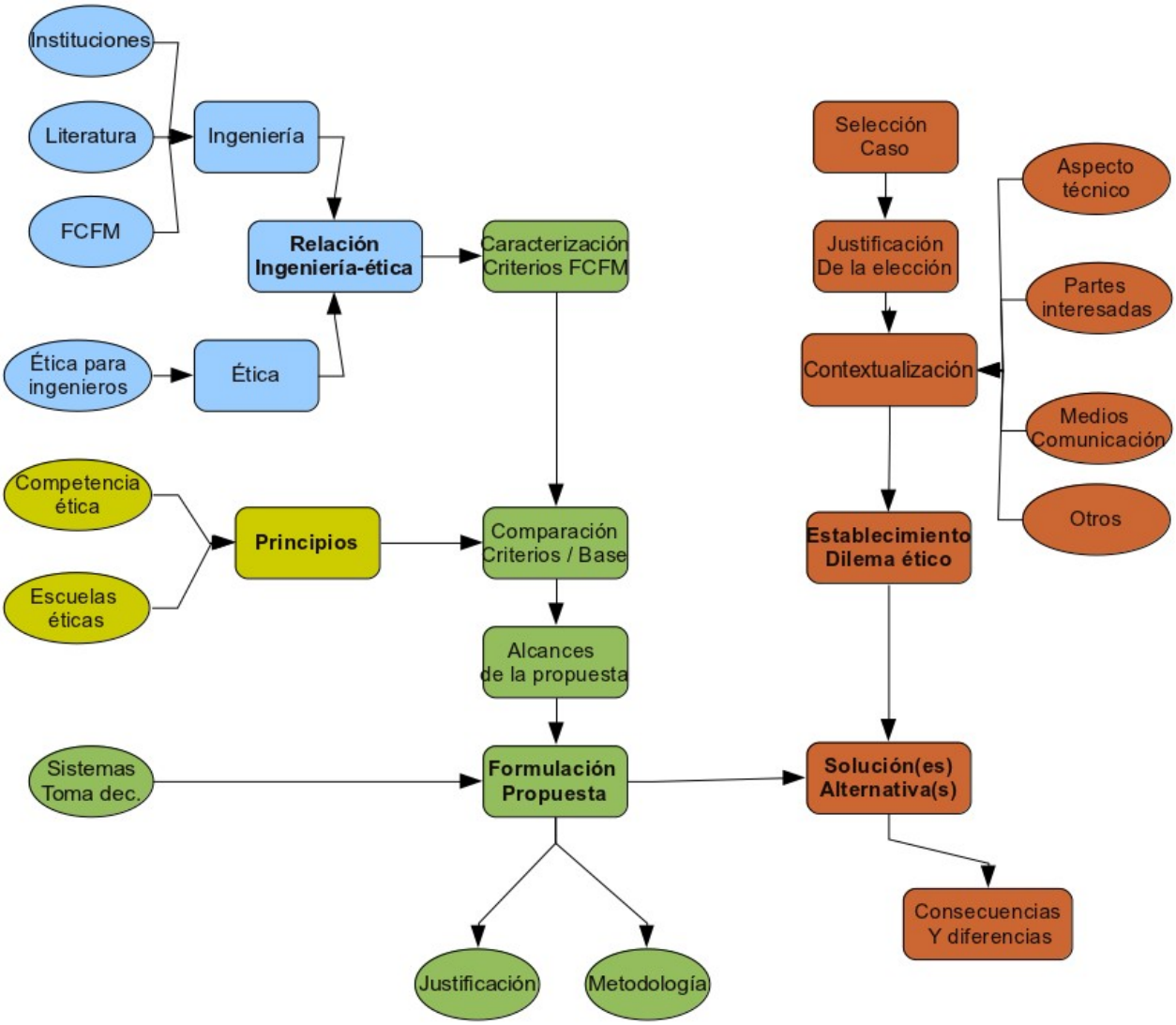

Figura 2, Esquema metodológico, elaboración propia.

7. Resultados

7.1. Marco Conceptual: Ingeniería

Como una primera aproximación para comprender el rol de la ingeniería y su relación con la sociedad occidental, se realizará una breve descripción de cómo esta disciplina se transformó en profesión. Para esto se analizarán definiciones de ingeniería generadas por instituciones de importancia y se incluirá la visión de la Escuela de Ingeniería y Ciencias de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

Si bien la ingeniería ha estado presente en obras como las pirámides mayas o los puentes incas, la ingeniería moderna occidental no surgió como tal hasta el Renacimiento. En ese entonces la actividad ingenieril estaba enfocada principalmente en la elaboración de construcciones militares[1]. El ingeniero era un soldado más, teniendo la obligación de obedecer a la autoridad institucional correspondiente. En este contexto el deber, la moral de los ingenieros, consistía en obedecer órdenes, prevaleciendo los criterios estratégicos y defensivos por sobre los productivos.

Durante los siglos posteriores la disciplina ingenieril comenzó a vivir un proceso de *desdoblamiento*[17], en la que la labor del artesano y la manufactura de guerra serían desplazados por la conversión del ingenio en fuerza productiva de la industria. Tal proceso prosigue desde el Renacimiento hasta el siglo XVII, acelerándose en el XVIII y adquiriendo, a comienzos del XIX, un ritmo vertiginoso que prosigue hasta hoy.

Smeaton (1724-1792) dio un primer paso para el cambio de paradigma, al usar el término "ingeniero civil", refiriéndose a su actividad como *"el arte erudito de diseñar y construir obras de paz"*[1]. Esta primera definición tiene 2 particularidades. Primero, dar un primer paso en la diferenciación de la ingeniería de la labor del artesano, al calificarlo como un *arte erudito*. Segundo, dar un fin a la disciplina, *diseñar y construir obras de paz*, en un intento por separarse de la actividad militar. Sin embargo, la ingeniería civil era simplemente ingeniería militar una parte del tiempo, permaneciendo ligados en sus deberes de obediencia a sus empleadores, fueran el gobierno o la empresa privada.

Durante el siglo XIX los ingenieros lucharon por el reconocimiento de su profesión y la independencia de acción. También se formaron instituciones y asociaciones de ingenieros a lo largo de Europa y Estados Unidos. Tredgold, uno de los fundadores de la institución británica *The Institution of Civil Engineers*, se refirió a la ingeniería como *"el arte de aprovechar los recursos de la naturaleza en beneficio del hombre y de la sociedad"*[1]. En esta definición el fin de la ingeniería es explícito: buscar el beneficio del hombre y de la sociedad por medio de la gestión de los recursos naturales.

A finales del s. XIX, la ingeniería experimentó grandes cambios y ganó progresivamente importancia y prestigio. George Morrison, uno de los primeros constructores de puentes de Norteamérica, proyectaba al ingeniero como agente fundamental del cambio tecnológico y fuerza principal del progreso humano. En sus palabras los ingenieros son *"los sacerdotes del desarrollo*

material, del trabajo que habilita a otros hombres para gozar de los frutos de las grandes fuentes de poder de la naturaleza, y del poder de la mente sobre la materia"[1].

Durante ese período, las innovaciones transformaron la industria inglesa, originando un nuevo modo de producción: la fábrica[26]. La ingeniería se integró a esta nueva forma de operar de las organizaciones productivas, estando presente tanto en los aspectos de invención, como de emprendimiento y gestión de cambios tecnológicos. Esto, en suma con la visión de la actividad ingenieril ligada al progreso y la eficiencia, incentivó al movimiento tecnocrático, que buscaba que las decisiones políticas fuesen tomadas por expertos como científicos e ingenieros, teniendo el pensamiento racional el más alto valor[1,8]. Esta versión utilitarista de la ingeniería, en donde los cursos de acción que se siguen se basan en un análisis costo-beneficio desde lo monetario y en el perfeccionamiento de la técnica, se desligo incluso de la búsqueda del bienestar humano general[1].

La ingeniería poco a poco alcanzaba un lugar de prestigio dentro de la sociedad. En 1929, Herbert Hoover se convierte en el primer presidente ingeniero de EE.UU. El segundo sería James Carter en 1977. Mas, aquella subordinación a la institución militar de la que la ingeniería se creía liberada y autónoma -tras el reconocimiento de la ingeniería como profesión- había sido reemplazada por la subordinación, como empleado, a la empresa privada[26].

Sin embargo, movimientos ambientalistas y de consumidores, con un renovado interés por los valores democráticos condujo a un replanteamiento de la ingeniería y su rol en la sociedad. Se obliga al cuestionamiento del rol ingenieril, más allá de lo técnico, buscando que estos se manifiesten y reflexiones con respecto a la justificación de sus acciones.

En atención a tales objeciones es que durante el siglo XX, instituciones de ingeniería de importancia mundial como la Junta de Acreditación de para la Ingeniería y Tecnología (ABET por siglas en inglés), redactó en 1947 el primer código transdiciplinario de ética de la ingeniería, que obligaba al ingeniero a *"interesarse en el bienestar público"*[1].

De forma similar, diversos autores han intentado dar una respuesta, redefiniendo la ingeniería y su sentido ético[8], estudiando el sentido del avance tecnológico[1], y los efectos de la ingeniería en la sociedad[2, 26].

Dentro de esos trabajos se encuentra el del ingeniero peruano Héctor Gallegos, quien se refiere a la ingeniería como *"la técnica social por excelencia"*[2], comparable únicamente con la política, debido a su impacto en la sociedad. Además, dentro de esta definición incluye una obligación: "*Su papel* [de la ingeniería] e*n la promoción del desarrollo, del progreso y del bienestar es irreemplazable; además debiera ser tarea de cada día de los que la ejercen*"[2]. Destaca de esta definición, el plantear directamente a la sociedad como entidad conductora de la actividad ingenieril representada en la técnica, asumiendo de inmediato la importancia de la ética de la misma, al desplazar primero esa neutralidad que se acostumbra a asociar a la técnica y luego al incluir una obligación sobre el ejercicio de la ingeniería. De esta manera la técnica, medio ingenieril, toma sentido, desligando a la actividad de los ingenieros de los principios tecnocráticos. Esto significaría que aspectos no exclusivamente técnicos y económicos, como lo pueden ser la opinión ciudadana, son aspectos de interés en el medio en el que se desenvuelve la ingeniería.

Una definición más detallada de lo que es la ingeniería y de su rol, es incluida en el texto *Ética para ingenieros*:

"Un ingeniero es un profesional que utiliza técnicas -y el conocimiento que posee de diversos sistemas técnicos: objetos de todo tipo y, en especial, máquinas, herramientas e instrumentos- para crear otros sistemas técnicos que satisfagan determinadas necesidades humanas.

Pero los ingenieros están inmersos en un mundo en el que no son los únicos protagonistas... Nos referimos, por un lado, a los científicos, que establecen las bases sobre las que se fundamentan las técnicas y, por otro, a los políticos y empresarios, que son los que normalmente deciden qué necesidades humanas se priorizan y cuáles se postergan."[8]

Se resalta en esa definición la importancia de la técnica dentro de la profesión, como medio para satisfacer ciertas necesidades humanas. Además, se destaca la relación de los ingenieros con la actividad científica y de cómo satisfacen las necesidades humanas: a través de las decisiones políticas y el mercado. De esta manera, no solamente se define sino que se contextualiza la ingeniería en el mundo globalizado. Pero, ante esta definición, el próposito de la ingeniería -el bien común- puede perderse. Gallegos afirma que, en la práctica, debido a su asociación con la corrupción de los mundos empresarial y político la ingeniería se desenvuelve como *"la ramera del desarrollo destructivo; destructivo del mundo natural, del ambiente y de la socio-economía"*[2]. Esto conlleva pensar que adicionalmente a la preocupación de los efectos de creciente desarrollo tecnológico, la ingeniería debe reflexionar sobre los problemas que esta solucionando y los criterios sobre los cuales se apoya para fundamentar sus acciones.

Si se considera el ideal tecnocrático y la subordinación de la ingeniería a la satisfacción de la demanda y a los deseos del mundo político como lo plantea Gallegos, parece consecuente el reflexionar sobre el actual rol de la ingeniería y el bien común en esta red de relaciones. ¿Son los valores que sustentan a estas ideologías correspondientes con los valores que la ingeniería debe representar actualmente? Más adelante se responderá a esta pregunta.

En cuanto al país, el reconocimiento de la profesión es mucho más reciente, al igual que en el resto de los países de América Latina. Tal reconocimiento surge desde la marcada correlación entre el surgimiento de la profesión ingenieril a nivel nacional y la industrialización y desarrollo del país. En 1843 se funda el primer Cuerpo de Ingenieros Civiles, así como la creación de la FCFM en 1842 y, posteriormente, del Instituto de Ingenieros (1888). Lo que sucedió durante el período republicano, es decir, cuando el tema del progreso comienza a ser hegemónico[26]. Luego, en 1958, se fundó el Colegio de Ingenieros A.G. de Chile. Para esta institución, los ingenieros son aquellos profesionales cuyo ejercicio está relacionado con el diseño, la producción, la explotación y/o las transformaciones de bienes o servicios, con aplicación fundamental de las matemáticas a nivel superior. Además, el Colegio de Ingenieros formuló un Código de Ética, promulgado en 1980 y revisado en 1998[18]. Sin embargo, como se menciona en la sección de Antecedentes, este código que busca orientar el ejercicio ingenieril, no cuenta con ningún respaldo legal, siendo vinculante únicamente para aquellos ingenieros que decidan afiliarse al Colegio.

También está el Instituto de Ingenieros de Chile ha generado diferentes documentos

orientados a mejorar el desarrollo de la ingeniería en el país. Dentro de esos informes se incluyen estudios a la minería, aguas, educación y formación de ingenieros, teniendo importancia para este trabajo el documento "Ética y educación". Este documento tiene por objetivo asentar precedentes para la formación valórica de los futuros ingenieros, porque de acuerdo a lo planteado por el Instituto: *"Las competencias técnicas,... deben ir acompañadas de un soporte valórico apropiado, única forma de hacer de la Ingeniería un recurso de avance socio-económico sustentable"*[13]. Se desconoce si este documento cumple algún papel en la formación de los ingenieros de la FCFM.

En cuanto a la definición específica de ingeniería civil química se menciona la definición hecha por el American Institute of Chemical Engineers (AIChE), fundado en 1908, con el objetivo de distinguir a la ingeniería química de la ingeniería mecánica y la ciencia química. Para esta institución la ingeniería química es la profesión en la cual el conocimiento de las matemáticas, la química y otras ciencias naturales aprendido gracias al estudio, la práctica y la experiencia, es aplicado con juicio para desarrollar formas económicas de la utilización de materiales y energías para el beneficio de la humanidad[12].

Esta última definición se diferencia de las anteriores por establecer el campo de acción de la ingeniería civil química: el desarrollo de materiales y energías. No deja de se llamativo el hecho de que los conocimientos y experiencia deban ser usados con juicio, develando una variable intrínseca al ejercicio de la ingeniería: la decisión. Si la ingeniería fuese neutra e impermeable a cualquier análisis ético, el juicio del ingeniero no sería de interés, puesto que el camino a seguir sería único. Sin embargo, en esta definición se deja en claro que esto no es así y la toma de decisiones es parte clave de la profesión. Esta consideración será de utilidad a la hora de analizar el vínculo entre ética e ingeniería.

Por lo tanto, el ingeniero es un profesional que se caracteriza por tener grandes conocimientos técnicos, los cuales se orientan a satisfacer las necesidades de la sociedad por medio del aprovechamiento de los recursos naturales. Además, a causa del gran poder transformador de la naturaleza y la sociedad que posee, el ejercicio de la ingeniería conlleva al cuestionamiento del sentido de la acción técnica. En definitiva, el entendimiento de la ingeniería no solo pasa por un conocimiento de las ciencias, la tecnología y la economía, sino que también por la reflexión sobre los medios y los fines de esta y los principios que justifican las decisiones tomadas.

7.2. Situación en la FCFM

La Escuela de Ingeniería y Ciencias de la FCFM, no presenta una definición formal y explícita de lo que considera ingeniería. Sin embargo, debido a su labor formadora, ha elaborado un perfil de egreso[15] para todos sus estudiantes, que da cuenta de las competencias particulares para los alumnos y alumnas del área ingenieril, la que se muestra a continuación.

Todos los profesionales que egresan de la Facultad deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Desarrollar tanto la capacidad de invención, innovación y emprendimiento, como el pensamiento crítico.

- Adquirir y ejercitar la capacidad de auto-aprendizaje, y tomar conciencia de la importancia de mantener este hábito una vez egresados. Podrán proseguir estudios de postgrado si lo desean con el fin de maximizar su aporte en la creación y adaptación de tecnologías en los sectores productivos.
- Comunicarse en forma efectiva, en forma oral, escrita y gráfica, tanto en castellano como en inglés y esta capacidad debe ejercitarse a lo largo de todo el plan de estudios.
- Adquirir competencia en análisis económico y administración, independientemente de la especialidad que sigan.
- Comprender su rol en la sociedad y reconocer la importancia de un comportamiento ético tanto en los estudios como en la posterior vida profesional, y actuar en consecuencia[15].

En relación a la formación de los ingenieros, la Escuela de Ingeniería y Ciencias de la FCFM busca asegurar los siguientes logros[15]:

- Alcanzar un fuerte dominio de las matemáticas y de las ciencias básicas, incluyendo la capacidad para diseñar experimentos, obtener, utilizar e interpretar datos y ser capaces de aplicar estos conocimientos donde ellos se requieran.
- Adquirir una fuerte formación en ciencias de la ingeniería y tener dominio de la tecnología actual y adaptarse a los cambios que ella experimente.
- Desarrollar la capacidad de diseño en ingeniería y tener la capacidad de plantear y resolver problemas abiertos o que requieran un enfoque multidisciplinario y trabajo en equipo.

Se deduce de estos últimos logros que para la FCFM, el ingeniero es un profesional que utiliza el conocimiento científico y tecnológico para la identificación y/o solución de problemas. No existe referencia directa a la clase de problemas que debiesen atender los ingenieros y las ingenieras de la FCFM. Aunque el requisito "comprender su rol en la sociedad", cubre de alguna manera ese aspecto, en la medida que obliga a los ingenieros situarse dentro de la realidad nacional. Por otra parte, el reconocimiento de la importancia de un comportamiento ético se hace cargo del cómo desempeñarse. Pero, dado lo vago de esa descripción, puede interpretarse que el perfil alude a que ese comportamiento ético, implique el *hacer el bien*.nPor omisión pueden asumirse dos posiciones: que los valores o principios éticos de los egresados deben ser los mismos principios conductores de la Universidad y por tanto de la Facultad; o bien que los principios a los que debe someterse son los de la tecnocracia, el progreso y la eficiencia, de acuerdo al requisito de sean competentes en el análisis económico. Con el fin de despejar esta incógnita se estudiarán algunos cursos de dictados en la FCFM, de interés para esta memoria y los criterios que se enseñan para la toma de decisiones[a].

7.3. Relación Ética e Ingeniería

Desde sus inicios, la ingeniería ha buscado el bienestar social mediante la generación de sistemas técnicos capaces de satisfacer las necesidades de la sociedad. Así, con la creación de instituciones de ingenieros, escuelas y el posicionamiento de esta disciplina dentro de la nueva organización productiva, la ingeniería logró ser considerada como una profesión[8].

a Este análisis se encuentra en el apartado *Criterios de la FCFM*, del presente trabajo.

El sentido de ser calificada como profesión radica en 3 ámbitos según lo planteado por Adela Cortina[27]. Primero, contiene un fin en sí misma. Un objetivo que puede ser reclamado por la sociedad en cualquier momento, como forma de legitimar a la profesión. En el caso de la ingeniería, el objetivo es, de acuerdo a lo planteado en el marco conceptual, la realización del bien común a través de medios técnicos. Segundo, la profesión no es una actividad individual, sino que es ejercida por un conjunto de personas, de "colegas". Ambas cuestiones nombradas representan el carácter de la profesión, se sirven de métodos comunes y apuntan al mismo fin. Prueba de ello son la existencia de colegios, instituciones y asociaciones de ingenieros de cada una de las ramas ingenieriles. Por último, el pertenecer a una comunidad profesional, otorga al individuo de una peculiar pertenencia e identidad. En este sentido, se puede hablar de un carácter ingenieril, siendo el ingeniero reconocido como un profesional con amplios conocimientos en el campo técnico, pero que es reconocido por la sociedad por estar aislado de ésta y preferir trabajar individualmente[28, 29].

De esa forma, se configura el *deber hacer* de las profesiones, en cuanto tienen un fin, un conjunto y una identidad. La actividad profesional, comprendida como actividad social[27], no puede realizarse sin disciplina moral, es decir, el ejercicio constante de tomar decisiones siguiendo obligaciones o principios valóricos para alcanzar las metas propuestas. Y más aún, es labor de cada grupo el diseñar los principios morales de su profesión, de modo de incluir las particularidades de cada una en tal diseño y responder a las exigencias hechas por cada ámbito social. Es tarea de cada conjunto profesional el formular su ética, de modo de vincular a cada profesional con los otros miembros de su grupo, y posibilitar que cada uno actúe por el bien de la sociedad en su conjunto[8]. En definitiva, decidir cómo cada profesión debe cumplir correctamente con su cometido es una elección ética.

El planteamiento anterior contradice la común imagen de la ingeniería como una profesión *neutra*, amparada por la técnica, exenta de obligaciones y cuestionamientos morales. A causa de que los ingenieros, expertos en dar soluciones técnicas, dotan a la sociedad de medios para alcanzar sus fines, pudiendo hacer de los medios el fin propio de la actividad ingenieril como forma implícita de ética.

Esta concepción de la ingeniería, se ve respaldada por la visión tecnocrática, que postula que todos los problemas, todas las necesidades vitales de los seres humanos, pueden reducirse a un problema técnico. Que además la ciencia y la técnica están libres de valores y son objetivas, como respuesta a la ambivalencia de los posibles fines a los que puede someterse la técnica, la idea de una ética para la ingeniería aparece como un sin sentido. Esta consideración se amplia a diferentes ámbitos. Así, se puede hablar de tecnocracia en toda situación en la que la opinión del experto se impone ante el resto de los sujetos participantes, cuando el aspecto técnico se estima como el único o al menos como el prioritario frente a otras de carácter social o político en la toma de decisiones[8]. En el caso de la ingeniería, solo tendría importancia el criterio técnico, descuidándose otros factores que interesan en la elaboración de una tecnología, como lo son el aspecto social, cultural, político y ambiental[26].

Sin embargo, esa misma visión no solo constituye una ideología[b] que define las

b Los discursos ideológicos son los que pretenden presentarse como sentencias de carácter únicamente descriptivo, pero que guardan consigo una pretensión de legitimación de ciertas posturas sociales, algunas manifiestamente

aspiraciones del hombre desde unas categorías moralmente neutras. Según Habermas[c], también es un sistema de valores que genera conciencia propia, en donde el valor superior lo ocupa la técnica[8]. Horkheimer, en la misma línea de Habermas, afirma que esta mentalidad -razón instrumental o estratégica- se olvida de valores o ideales siempre que sea preciso para lograr una mayor utilidad. Esta mentalidad es la ética de la tecnocracia, en la medida que racionaliza la moral de la técnica. Esto significaría que la decisión de utilizar los criterios técnicos para la toma de decisiones en ingeniería correspondería igualmente una decisión ética. Porque no existe decisión racional alguna que sea realmente neutra.

Desde tal perspectiva tecnocrática, lo que la ingeniería hace es tan solo *aplicar* un saber técnico al servicio del progreso. El ingeniero transforma y acondiciona el medio natural y material para bienestar y beneficio público. En este sentido, la ética del ingeniero se confunde con la eficiencia. Es engañosa, porque supone un fin ideal que disocia la técnica de todo compromiso con otros objetivos u otros efectos que puede producir en la sociedad[26].

El problema acerca del sentido de la técnica y, en consecuencia, de la ingeniería, queda omitido junto con todo criterio de validación cualitativo[26]. De modo que cuestiones referentes a la seguridad, salud, bienestar público, calidad de vida, entre otras, quedan postergada o puestas en función del beneficio de la eficiencia y la utilidad directa.

Sin embargo, tras desastres como el de Bhopal en la India, ocurrido en 1984 -en donde más de 4.000 personas fallecieron, producto de la filtración de isocianato de metilo de una planta de pesticidas[30], comenzó a ser puesto en duda el dominio de la técnica y por tanto de la ingeniería por sobre otros criterios y puntos de vista. Esto tanto por organizaciones ambientales y de consumidores[1], como por las mismas instituciones de ingeniería[8,13,16]. El concepto de bienestar social -reducido desarrollo económico y progreso técnico[26]- impulsado por la ingeniería se alejaba bastante de la opinión pública y los métodos técnicos comenzaban a mostrar falencias como únicos factores de decisión [31].

A elloo se suman los conflictos internos dentro de las mismas instituciones ingenieriles, debido por ejemplo a la gran cantidad de ingenieros en proyectos militares, las consecuencias de la Segunda Guerra Mundial y el desarrollo de armas nucleares. Esto se tradujo en una reflexión desde el interior de las mismas organizaciones ingenieriles, haciéndose especial énfasis a su responsabilidad con el bienestar de la sociedad como eje orientador de su ejercicio[1]. Tomando conciencia de las consecuencias de sus actos sobre la sociedad, del uso de la técnica y de los potenciales efectos catastróficos sobre el medio ambiente. Ejemplo de ello son los diferentes códigos de conducta, tanto internacionales[25], como nacionales[13,18], la existencia de tribunales éticos[32] o guías de comportamiento en el ámbito ingeneiril[25].

Si bien, la mayoría se trata de códigos de ética, también se registran nuevos principios para la toma de decisiones, como el desarrollado por la asociación alemana de ingenieros , *Verein Deutscher Ingenieure* (VDI)[33]. Este sistema, basado en el informe *Mensch und Technik*[1,34]

injustas. Pretenden lograr adhesión a determinadas opciones, pero disfrazadas de descripciones *objetivas* de la realidad[8]

c Jügen Habermas, al igual que Max Horkheimer, pertenecen a la Escuela de Frankfurt, grupo filosófico surgido después de la Primera Guerra Mundial. El núcleo discursivo de la Escuela era la Teoría Crítica, que consistía inicialmente en un marxismo heterodoxo, incluyendo tanto aspectos sociológicos como filosóficos[8]

-donde se analiza la relación entre ética, la técnica y la ingeniería, luego de la Segunda Guerra Mundial- considera 8 esferas de evaluación (calidad ambiental, salud, seguridad, funcionalidad, economía, estándares de vida, desarrollo personal y calidad social). Lo que complementa la toma de decisiones ingenieriles mediante la inclusión de estas variables.

Otro informe similar es la guía para el desarrollo sustentable[25] efectuada por la *Royal Academy of Engineering*[35], institución británica de tradición desde 1976. En esta guía se desarrollan principios para una ingeniería en sintonía con el desarrollo sustentable, siguiendo las tendencias internacionales. Estos principios son llevados al plano práctico, integrándolos a los análisis de ciclo de vida realizados para los proyectos.

Entre esos trabajos, también destaca el realizado por el ingeniero Héctor Gallegos, quien califica a la ingeniería como *"la técnica social por excelencia"*. Sin embargo, en la práctica, su asociación con la corrupción de los mundos empresarial y político conduce a considerarla *"la ramera del desarrollo destructivo; destructivo del mundo natural, del ambiente y de la socio-economía"*[2]. Esta visión contrasta bastante con la propuesta por Morrison, a finales del siglo XIX, puesto que de pasar a estar en una posición de prestigio e importancia como la de sacerdote del desarrollo material, los ingenieros pasan a transformase en una agente más de la destrucción subordinándose a los corruptos mundos de la empresa y la política. Gallegos continua, asegurando que el dominio del inmediatismo empresarial más, en sus palabras, la pérdida de la ética, se han manifestado en la destrucción de la obligación de la ingeniería para buscar el bien común.

Pero, más que la pérdida de la ética en la ingeniería, se podría decir que el actual sistema económico, en conjunto con la tecnocracia se han convertido en la ética ingenieril. Provocando que la búsqueda del bien común de la ingeniería pasase a segundo plano, en beneficio del progreso y la eficiencia y los valores utilitaristas.

Siguiendo esta crítica se puede agregar lo desarrollado por Carl Mitcham. Para este autor, la ética en la ingeniería va mucho más allá de las obligaciones morales o la aplicación de teorías éticas. Agrega Mitcham que en nuestro "mundo ingenierizado", la ética en la ingeniería no puede ser una preocupación reservada solo a los ingenieros. Por el contrario, es un cuestionamiento sobre la relación con los objetos y los procesos técnicos y su concepción la cual debe concernir a todos sin excepción[1]. Esto implicaría que los criterios para el ejercicio de la ingeniería debería no solo considerar la visión técnico-económica, sino que además debería incluirse la percepción del resto de los ámbitos sociales. Para ello también se vuelve necesario el crear un público informado y autoreflexivo, que trabaje con los ingenieros, de modo de alcanzar un consenso informado.

La preocupación de Mitcham y Gallegos es, en esencia, la misma: los actuales principios que sustentan la ingeniería, no son capaces de hacerse cargo de los nuevos requerimientos que se realizan desde los ámbitos sociales, como aquellos relacionados con la sustentabilidad[25]. Tampoco atienden al fin social de la ingeniería, puesto que su rol ha sido manipulado por la esfera empresarial y política. Además, se vuelve necesario que tales principios den algún tipo de respuesta a los dilemas que suponen el creciente desarrollo tecnológico y el impacto ecológico del uso de la técnica.

Por lo tanto, el estudio de la dimensión ética en la ingeniería pasa por el cuestionamiento de los principios que justifican las decisiones y acciones de los individuos que ejercen esta profesión. De este modo, conciliando los principios con los fines y medios que dispone la ingeniería, se podrá desarrollar una ética que permita un ejercicio consecuente de esta profesión, consecuente con los principos que la legitiman como una profesión cuyo objetivo sea el bien común.

7.4. Base Ética Propuesta (BEP)

Los principios valóricos que formen parte de la Base Ética Propuesta (en el futuro BEP) de los ingenieros civiles, deben considerar los siguientes puntos, de acuerdo al análisis antes expuesto:

- El objetivo de la ingeniería es, en primera instancia, el bien común, en vista de las definiciones de ingeniería recopiladas. En este trabajo el bien común será entendido como al conjunto de condiciones apropiadas para que todos -grupos intermedios y personas individuales- alcancen su bien particular[36]. Esta definición incluye por lo tanto no solo el aspecto económico, sino que también aspectos como la salud o el medio ambiente, de acuerdo a lo planteado en el capítulo III de la Constitución Política de la República de Chile[37].

- De acuerdo al punto anterior, el ejercicio de la ingeniería quedará referido al bien común. Así, el sentido de la técnica, de los medios ingenieriles, queda fundado a la búsqueda del bien común, a acrecentar las posibilidades de vida de toda la humanidad a través del desarrollo y adecuada aplicación de dichos medios[34].

- La inclusión de otros factores a considerar en el momento de tomar decisiones es imperativo. En este sentido, el tomar en cuenta el mayor número posible de elementos, como contrapeso general del modelo de simplificación, tiene una dimensión moral[1]. La idea es que la inclusión de la máxima cantidad de variables le permita reflexionar sobra la importancia de cada una de ellas. Este deber busca que la ingeniería evite efectos colaterales peligrosos, tomando precauciones contra diversas fallas técnicas y participe de la discusión de los "por qué" de las tecnologías. Este deber es enunciado por Mitcham, y se conoce como el principio del *plus respicere*[d].

- Por otra parte, ante los efectos que tienen las acciones ingenieriles en el largo plazo especialmente en el medio ambiente, como en el caso de Bhopal o de la industria del Salmón en el sur de Chile, es importante el manifestar el compromiso de la ingeniería tanto con el desarrollo actual, como con el bienestar futuro. En este ámbito, el trabajo de Hans Jonas, creador de la heurística del temor, es fundamental. De acuerdo a sus planteamientos, este imperativo toma la siguiente forma: *Incluye en tu elección presente, como objeto también de tu querer, la futura integridad del hombre*[14]. Esta forma de responsabilidad aúna los diversos horizontes de la libertad de decisión y la exigencia ética.

---

d El *plus respicere* (del latín *plus*, "más", y *respicere* "preocuparse por") es un principio formulado por Carl Mitcham en el capítulo VIII del libro *Thinking Ethics in Technology*[1] El principio fue elaborado luego de la revisión de numerosos casos de desastre ingenieril, en donde el autor concluye que la omisión jugó un papel determinante. El *plus respicere* busca que a la hora del diseño, los ingenieros tomen en cuenta el mayor número de factores posibles; no solo como una forma de evitar accidentes, sino también de reflexionar sobre el bien.

- Una ética de la ingeniería debe buscar formas de relacionarse con los diferentes ámbitos sociales, en cuanto es una profesión, en el sentido planteado por Adela Cortina. Es necesario integrar tanto a los expertos en lo técnico como al público, de modo de enriquecer la reflexión técnica y que esta trascienda al plano social. Esto significa que las acciones ingenieriles tengan consecuencias positivas sobre la sociedad expresadas como formas de generación y redistribución de riqueza social.
- Adicionalmente, puesto que el análisis esta centrado en los ingenieros de la FCFM, se propone que la Misión de la Universidad de Chile forme parte estos principios[38]. En la misión se reconocen aspectos concernientes al rol de profesionales en la sociedad, a las características del desarrollo que deben buscar, así como el compromiso que se realiza con el país y el bien común, en el contexto de una sociedad compleja, global y diversa.

De manera de darle sentido al *comportamiento ético*, referido en el perfil de egreso de la Escuela de Ingeniería y Ciencias, es que los principios formulados no solo atenderán a las consideraciones ya dispuestas. Además, se guiarán por la competencia ética definida por el ADD y el Área de Humanidades de la FCFM, que traduce la Misión de la Universidad de Chile al plano ingenieril. Los principios de la BEP son formulados a continuación.

1. Ejercicio Responsable

En el contexto de un desarrollo tecnológico que abre un mundo de posibilidades antes insospechados, la responsabilidad aparece como una categoría fundamental de la ética profesional[8]. La responsabilidad será comprendida como la condición de posibilidad del reconocimiento de los ingenieros como sujetos morales. Para un ejercicio profesional responsable, por lo tanto, es de importancia el reconocer quién es responsable, de qué se es responsable, y ante quién se es responsable. Para responder a estas interrogantes, es que se establecerán dos puntos conductores la *Conciencia Social* y la *Reflexión Crítica.*

1.1. Conciencia Social

La *Conciencia Social* consiste en el reconocimiento de los impactos, tanto positivos como negativos, de su actividad profesional sobre la sociedad. Esto invita al ingeniero a relacionarse con la comunidad, conociendo su cultura y preferencias. También conlleva a la identificación de los grupos sociales que pudiesen manifestar algún tipo de interés en el proyecto o en las consecuencias de este.

A su vez, el entendimiento del entorno social no solo permitiría el desarrollo responsable de la ingeniería, a través de la inclusión de los intereses de la sociedad como limitante de las acciones ingenieriles, sino que además orientaría el objetivo de los proyectos y la búsqueda del bien común. También permitiría el resolver sobre como incluir a las partes interesadas en la toma de decisiones, enriquecer la reflexión técnica y que sus acciones trascienda al plano social.

De un modo más práctico, este principio se puede representar por las siguientes preguntas: ¿Realizaría este proyecto si se hiciese público? Si las consecuencias de esta acción me afectasen directamente, ¿continuaría con ella?

1.2. Reflexión Crítica

Por otra parte, la *Reflexión Crítica* puede entenderse como la interpretación de datos y experiencias con el fin de llegar a nuevas percepciones y acuerdos sobre la acción[8]. Este principio busca definir, tanto las causas como los efectos de las acciones ingenieriles, lo que le permitiría a los ingenieros reconocer quién es responsable y de qué. Con esta premisa, el ingeniero puede reconsiderar los caminos planteados así como buscar la mejor solución -mejor para la sociedad, de modo de ser consecuentes con la conciencia social expuesta- ante una gama de alternativas. Así se permite que los medios técnicos se relacionen con el objetivo de la ingeniería. Algunas preguntas que pueden servir para aplicar este principio son: ¿Cuáles son las consecuencias del proyecto?, ¿qué precauciones se tienen que tener?

Así, el ejercicio responsable de ingeniería se basa en la orientación de las acciones en beneficio de la sociedad, en el cuestionamiento constante de los cursos de acción establecidos y el conocimiento de las consecuencias de estos.

2. Orientación

Las necesidades de la sociedad actual -compleja, global y diversa- deben atenderse de manera integral y creativa. Esta afirmación determina la manera en que los ingenieros deben hacerse cargo de las necesidades de la sociedad. Las acciones ingenieriles, entonces, deben incluir a las partes interesadas en la satisfacción de tales necesidades. Para ello, deberá ser capaz de buscar nuevas soluciones, que permitan un desarrollo balanceado del país. Adicionalmente debe estimar consecuencias o efectos inesperados, considerando el mayor número de factores de acuerdo a la situación que enfrente, de acuerdo al principio del *plus respicere* o *preocuparse por*[1].

2.1. Integración

La capacidad de los ingenieros de incluir a las partes interesadas en la satisfacción de las necesidades sociales será comprendida por el aspecto de *Integración*. Esto implica el poder identificar a las partes interesadas -ya sean aquellas afectadas directamente por las consecuencias de los proyectos, como aquellas relacionadas indirectamente- y su influencia e interés en la realización o continuación de los proyectos.

Este planteamiento llevaría a los ingenieros a enfrentarse a los siguientes dilemas: ¿Cómo afecta este proyecto a las partes interesadas? ¿Qué conflictos podría despertar esta alternativa en alguna de las partes interesadas? ¿Qué solución satisface de mejor manera a todas las partes interesadas?

2.2 Creatividad

La *Creatividad* será comprendida como la búsqueda de soluciones alternativas que permitan el desarrollo integral, equilibrado y sostenible del país. Esta habilidad va de la mano del perfil de egreso de la FCFM[15]. Puesto que en este se busca el desarrollo de la capacidad inventiva, la innovación y el emprendimiento por parte de los egresados de la FCFM. Además la creatividad no solo invita a la creación soluciones que vayan más allá de lo tradicional, sino que

ea la elaboración de soluciones consecuentes con la BEP. También la creatividad busca a la predicción de consecuencias de las decisiones tomadas, apoyándose en el principio del *preocuparse por* y también de cómo estas consecuencias e enfrentarán.

Por lo tanto las cuestiones a las que lleva el considerar la creatividad como principio para la toma de decisiones son: ¿Cuáles son todas las consecuencias, posibles y también poco posibles, que pueden ocurrir? ¿Se pueden generar soluciones no tradicionales a este problema?

3. Compromiso

El ejercicio de la ingeniería debe estar comprometido con el bien común, y el desarrollo integral, equilibrado y sostenible del país. Este aspecto será contenido por los principios de *Desarrollo* y *Bien Común.*

3.1. Desarrollo

El *Desarrollo* será caracterizado de acuerdo a la Misión de la Universidad de Chile. Por lo tanto, se espera que este *Desarrollo* satisfaga 3 dimensiones: *Integral, Equilibrado y Sostenible*.

3.1.1. *Desarrollo Integral*

Referido a buscar incluir todos los grupos de interés social en la toma de decisiones, ligándose con el punto 2.1 de Integración. La pregunta elaborada para este punto es ¿Se esta contribuyendo a todas las áreas de interés social?

3.1.2. Desarrollo Equilibrado

Entendido como el aporte balanceado en todos los grupos sociales. Las interrogantes relacionadas con este punto son ¿Todas se ven beneficiadas?¿En qué medida o de que modo?.

3.1.3. Desarrollo Sostenible,

El desarrollo que persigue la ingeniería no debe comprometer el desarrollo de las generaciones futuras, atendiendo además a los planteamientos de Hans Jonas en el texto *El principio de la responsabilidad, Ensayo de una ética para la civilización*[14]. Bajo esa premisa, la interrogantes formulada es ¿Se compromete el desarrollo del futuro con el presente proyecto?

3.2. Bien Común

El bien común no se refiere al bien de todos -como si todos fueran una unidad real-, sino el conjunto de condiciones apropiadas para que todos -grupos intermedios y personas individuales- alcancen su bien particular[36]. Además, de acuerdo a lo planteado por la Misión de la Universidad de Chile, para propender al bien común es necesario atender a los requerimientos de la nación, inspirándose siempre los valores democráticos y el resguardo y enriquecimiento del acervo cultural nacional y universal.

Es importante notar que el concepto de bien común puede resultar hoy bastante complejo o quizás etéreo y, por lo mismo, difícil de cuantificar. Ejemplo de ello son las teorías levantadas en el área de la evaluación social[23,39], y el modo de interpretar las preferencias de la sociedad. Por lo tanto, siguiendo la línea de los principios, el *Bien Común* reunirá las reflexiones de los puntos anteriores, de modo de detectar como el proyecto influye o puede influir en las condiciones apropiadas para que cada parte alcance su bien.

7.5. Criterios FCFM

La necesidad de tomar decisiones en todos los ámbitos de nuestra vida, exige parámetros y guías que orienten el proceso y justifiquen por qué se toman unas y no otras. Si consideramos el campo de la ingeniería, la situación puede volverse más compleja debido al alto impacto (a veces positivo y otras negativo) que se tiene sobre la sociedad y el medio ambiente.

En el caso de los criterios impartidos en la FCFM, el criterio económico es de gran importancia. Este criterio se puede resumir en la elección de la alternativa que maximice las utilidades del tomador de decisiones. Esto se ve reflejado en el perfil de egreso de la Facultad. Se menciona explícitamente que se espera que los estudiantes sean capaces de "*Adquirir competencia en el análisis económico y administración, independientemente de la especialidad que sigan"*[15]. También es de importancia el criterio técnico, entendido como la existencia de medios materiales, humanos y tecnológicos, incluyendo las condiciones legales para la realización de un proyecto[22].

En lo concreto, tal competencia toma forma en el curso semestral Evaluación de Proyectos, a cargo del Departamento de Ingeniería Industrial de la Facultad. De acuerdo al programa, el curso tiene como objetivo que los estudiantes sean capaces de "*diseñar la evaluación económica y financiera de un proyecto de inversión*". Para ello, los contenidos del curso se orientan a entregar herramientas para la toma de decisiones desde el punto de vista económico, como lo son las matemáticas financieras, flujo de caja privado, además de indicadores para la evaluación de proyectos. También cuenta con un apartado sobre Evaluación Social.

De modo de establecer si esta herramienta permite un ejercicio consecuente con los principios planteados, se procederá a describir los principios que justifican la toma de decisiones en base al criterio económico. A partir de esto se decidirá si es necesario realizar algún tipo de modificación o complementación a las herramientas de la Evaluación de Proyectos.

7.5.1. Evaluación de Proyectos

La Evaluación de Proyectos constituye una de las herramientas más importantes para la toma de decisiones ingenieriles. Su objetivo, como fue presentado en los Antecedentes, es la optimización de la asignación de los recursos de modo de aumentar los beneficios del tomador de decisiones. Dicho de un modo más práctico, la regla de oro de la Evaluación de Proyectos es la *maximización del VAN*.

La búsqueda del beneficio -objetivo principal de la Evaluación de Proyectos expresado en el criterio de la maximización del VAN- estaría en concordancia con la idea de que la búsqueda de los individuos de su propio interés genera el beneficio colectivo. Ello, gracias a la intervención de la "mano invisible", según lo propuesto por Adam Smith, que permite la autoregulación del mercado[8].

Esa búsqueda es naturalizada por Bentham, quien propone los individuos buscan su autopreferencia por sobre la del colectivo[40], siendo esta la forma en que los individuos satisfacen sus deseos. Afirma que el dinero (entendido como la proporción entre una determinada suma de dinero y la suma total de capital de un individuo[40]), es la medida más exacta del placer o dolor que puede recibir una persona. Siendo entonces la felicidad propia lo que los hombres persiguen, es que Bentham formula el *principio de utilidad*, que busca la mayor felicidad del mayor número de individuos. Así, asegura que el principio de la autopreferencia es el único principio verdadero sobre el cual se debe construir el sistema económico[40].

Luego, la búsqueda del placer por parte de los individuos lleva al aumento de la competitividad del mercado. Esto provocaría que en algún momento, bajo ciertos supuestos como el de equilibrio perfecto, todos los individuos motivados por el principio de autopreferencia, alcancen su felicidad y, gracias a la mano invisible, todos los individuos en suma se ven beneficiados por la redistribución de las riquezas debido a la *mano invisible* del mercado. Por lo tanto, el posible aumento de la felicidad de alguno provocaría la disminución de la felicidad de otro -la felicidad medida por el dinero y casi entendida como un bien transable. Esta situación, conocida como *equilibrio de Pareto*[23], explicaría por ejemplo, la dificultad de generar proyectos rentables en mercados competitivos, debido a los efectos que generan tales mercados en las tasas de rentabilidad de los inversores -suerte de *capacidad de aumentar su felicidad*.

En este sistema económico utilitarista y capitalista, el rol de la ingeniería queda expuesto en la figura 3. Las necesidades de la sociedad se transforman en demanda, de la cual se hace cargo el sector privado por medio de la oferta, alcanzando un precio de equilibrio de acuerdo a la lógica del mercado. La ingeniería entonces, se encarga de generar productos y servicios que sean capaces de satisfacer tal demanda y maximizar la rentabilidad del privado por medio de, por ejemplo, la disminución de los costos, aumentando la competitividad de los mercados. Por otra parte, la ingeniería también participa en la elaboración y ejecución de políticas públicas, las cuales son establecidas por los estados por medio de los organismos democráticos, las reclamaciones sociales y los planes del gobierno de turno, como forma adicional de atender a ciertas demandas del mercado. Para todo lo anterior, la ingeniería aprovecha los recursos naturales, consumiendo materias primas y generando desechos. Esta actividad es regulada por leyes, normas, reglamentos y tratados convenidos por los estados. El sector privado también regula esta actividad a través de la existencia de mercados especiales, como el mercado del Carbono[41].

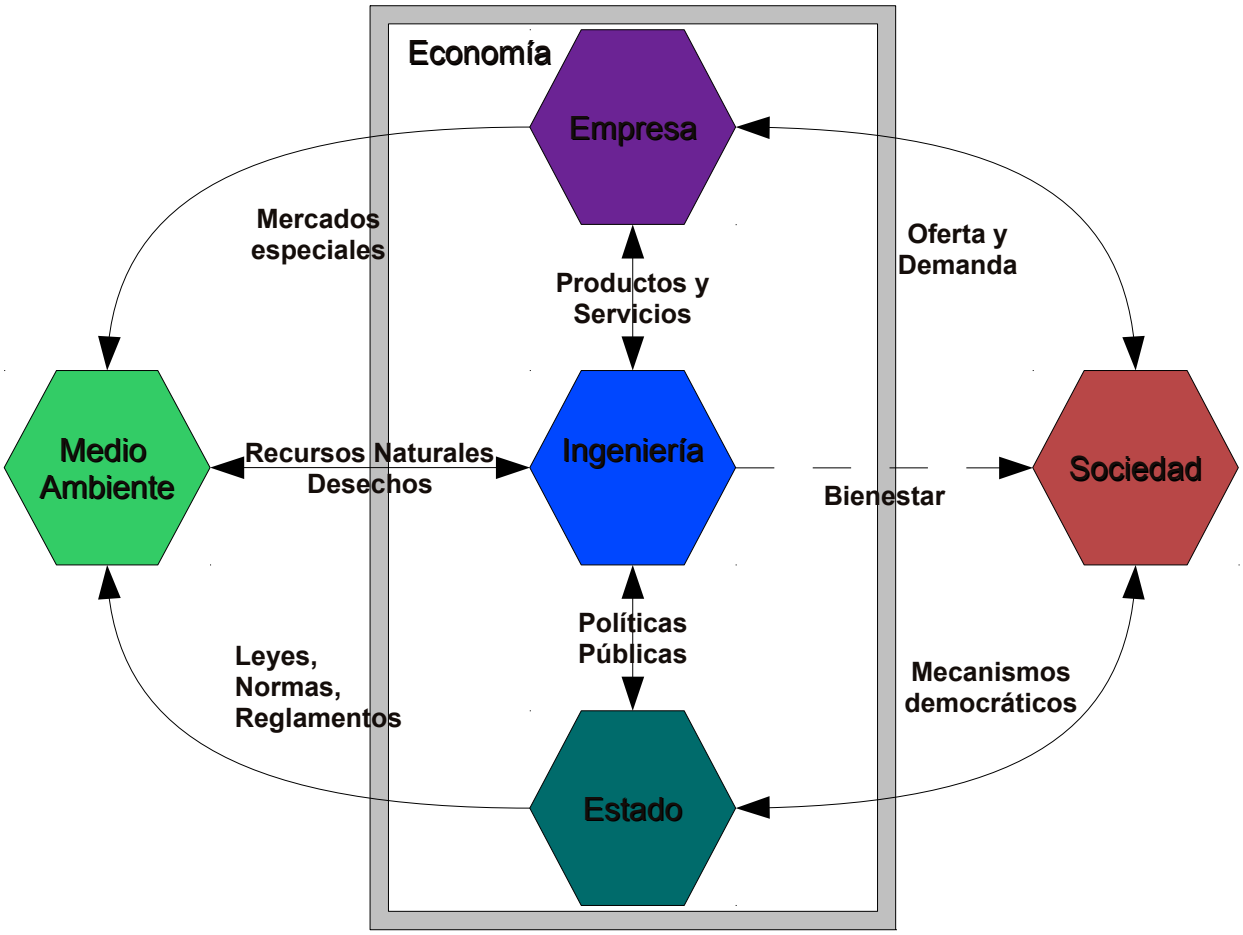

Figura 3, La ingeniería en el mundo económico actual, elaboración propia

Así, respondiendo al mercado y a los mecanismos democráticos, la ingeniería se muestra como capaz de alcanzar el bien común, representando en forma de utilidad económica. Por lo tanto, el criterio técnico-económico de Evaluación de Proyectos, podría ser un correcto criterio para la toma de decisiones ingenieriles, de acuerdo a la BEP.

Sin embargo, los principios establecidos por Smith, y correspondidos por autores como Bentham, han sido fuertemente criticados desde distintos ámbitos. Tales críticas plantean que, a pesar de los intentos por demostrarlo por parte de la economía ortodoxa, a través de la teoría de la elección racional, no es cierto que el mercado sea el mecanismo adecuado para alcanzar el bien común[8].

Un breve análisis del sistema económico indica, por ejemplo, que las preferencias de los mercados no están dadas y que, más aún, se crean y varían; que la competencia es desvirtuada por prácticas monopolísticas y colusiones que dificultan el equilibrio entre oferta y demanda; que las externalidades sí influyen en el comportamiento de los agentes del mercado (productores y consumidores)[8]. Además, los mercados no proporcionan necesariamente todos los bienes para

los que hay demanda, aun cuando los costos de ofrecerlos sea menor que el precio que están dispuestos a pagar los consumidores[23]. Es más, el equilibrio de Pareto no dice nada acerca de la justicia en la distribución de los bienes en un estado social dado, por lo que valores como la igualdad entre los agentes están ausentes de la ética del mercado.

Por lo tanto, los principios sobre los cuales los criterios de la Evaluación de Proyectos tiene respaldo no están en concordancia con la BEP, puesto que la ética utilitarista persigue un fin diferente. Está no permite un *Desarrollo Integral,* al no garantizar que todos los ámbitos sociales alcancen el bien común. Por otra parte, prácticas como el monopolio y la colusión, contradicen el principio de la *Conciencia Social*, realizándose a escondidas de la opinión pública y la sociedad. La importancia del beneficio individual por sobre el bien de todos los ámbitos sociales se contrapone al principio de *Desarrollo Equitativo*, dado que el fin de la ingeniería es en primera instancia, el bien social, en cambio, desde la economía ortodoxa, se habla del bien propio medido como utilidad y desarrollo expresado en indicadores económicos (VAN, TIR y en términos globales, Producto Interno Bruto) con todos los ya cuestionados supuestos que esto requiere y la falta de realización de la misma. A esto se suma que la innovación y la posibilidad de nuevas soluciones, queda sujeta únicamente a la rentabilidad y a la demanda, que no siempre refleja las necesidades de la sociedad[8,23].

Tampoco permiten responder a los cuestionamientos formulados desde la relación entre ética e ingeniería, ni se hacen responsables de la crítica realizada a las tendencias tecnocráticas que, por cierto, avalan la utilización de la evaluación de proyectos. Ya que se trata de una práctica que combina criterios económicos con herramientas técnicas. Esto conlleva que la reflexión crítica de las acciones ingenieriles quede en el campo de lo técnico-económico, excluyéndose otros ámbitos de importancia como el social o el ambiental.

Es claro que las herramientas con las que cuenta la Evaluación de Proyectos permiten una adecuada gestión de los recursos, cumpliendo con el objetivo de la maximización de las utilidades. Así mismo, el criterio técnico permite establecer la posibilidad de los proyectos, en cuanto a lo material, humano y tecnológico. Sin embargo, la utilización del criterio técnico-económico como único criterio para la toma de decisiones es insuficiente para conseguir el objetivo de la ingeniería y responder a la BEP. Por lo tanto, es necesario proponer criterios complementarios que permitan el desarrollo equitativo, integral y sostenible de la sociedad.

7.6. Elaboración de Propuesta

Es necesario complementar la toma de decisiones ingenieriles de modo de atender a la BEP y, por lo tanto, a la sociedad. Cumpliendo así con el rol histórico que ha tenido esta profesión, acrecentando las posibilidades de vida humana a través del desarrollo y adecuada aplicación de los métodos técnicos.

Para ello es que el análisis técnico-económico aplicado en los proyectos privados y en general en la toma de decisiones será complementado con reflexiones cualitativas, de modo de mejorar la calidad de las decisiones tomadas. Sistemas que incluyen este tipo de consideraciones son la Evaluación Tecnológica[24], y la propuesta descrita en la guía *Engineering for Sustainable Development*[25], ambos detallados en la sección Antecedentes. El último mencionado, elaborado por la *Royal Academy of Engineering*, con el objetivo de promover el desarrollo orientado al

futuro cuenta con 12 preguntas relacionadas con la sustentabilidad, las cuales tienen diferentes implicancias según la etapa de evaluación en la que se encuentre el tomador de decisiones.

En vista de lo anterior, se formularán preguntas relacionadas con los principios establecidos en la BEP. Estas preguntas acompañarían cada etapa iterativa del proceso de selección de proyectos y serán criterios de importancia a la hora de continuar, postergar o abandonar la idea de proyecto.

7.6.1 Herramienta de Análisis Integral (HAIN)

Entonces, las preguntas que complementaran la toma de decisiones en la Evaluación de Proyectos, son las descritas en la figura 4. Cada pregunta busca que las alternativas formuladas responda a la BEP, de modo que los proyectos seleccionados no solo se justifiquen desde lo puramente técnico y lo económico. Así, los criterios ingenieriles se desligarían de la ética fundada en ideales tecnocráticos y utilitaristas.

Así a la hora de analizar las alternativas para la realización de un proyecto no solo se estudie la rentabilidad o factibilidad de estos, sino que además se considere su relación con la comunidad *(Conciencia Social),* se identifiquen las partes interesadas en el proyecto o influenciadas por las consecuencias de este *(Integración)*. Que además se evalúe sobre posibilidad de mejorar el proyecto, tomando en cuenta efectos no previstos, y el estudio de los factores de interés en función de lo planteado por la BEP *(Creatividad* y *Reflexión Crítica)*. Adicionalmente la HAIN busca establecer la relación del proyecto con el desarrollo social, considerando su sostenibilidad y equidad *(Desarrollo)*, para de reflexionar, finalmente, sobre las consecuencias del proyecto en el bienestar social y las condiciones que lo permiten (*Bien Común)*. Todo esto en conjunto permitirá cuestionar los proyectos, plantear nuevas alternativas y ejercer la ingeniería, consecuentemente con la BEP.

Luego, cada proyecto deberá buscar una respuesta a cada una de las preguntas, siguiendo el orden que se muestra en la figura 4, esto es, primero responder a la *Conciencia Social,* luego a la pregunta de *Reflexión Crítica* y así sucesivamente. La HAIN tiene este orden porque cada pregunta cada vez profundiza más y más en los diferentes aspectos del proyecto que son propuestos por la BEP. Es importante mencionar que las preguntas están formuladas para que las respuestas sean más que un simple “si” o “no”. Tampoco existen respuestas buenas o malas, puesto que lo que la HAIN busca es reflexionar los aspectos del proyecto relacionadas con la BEP.

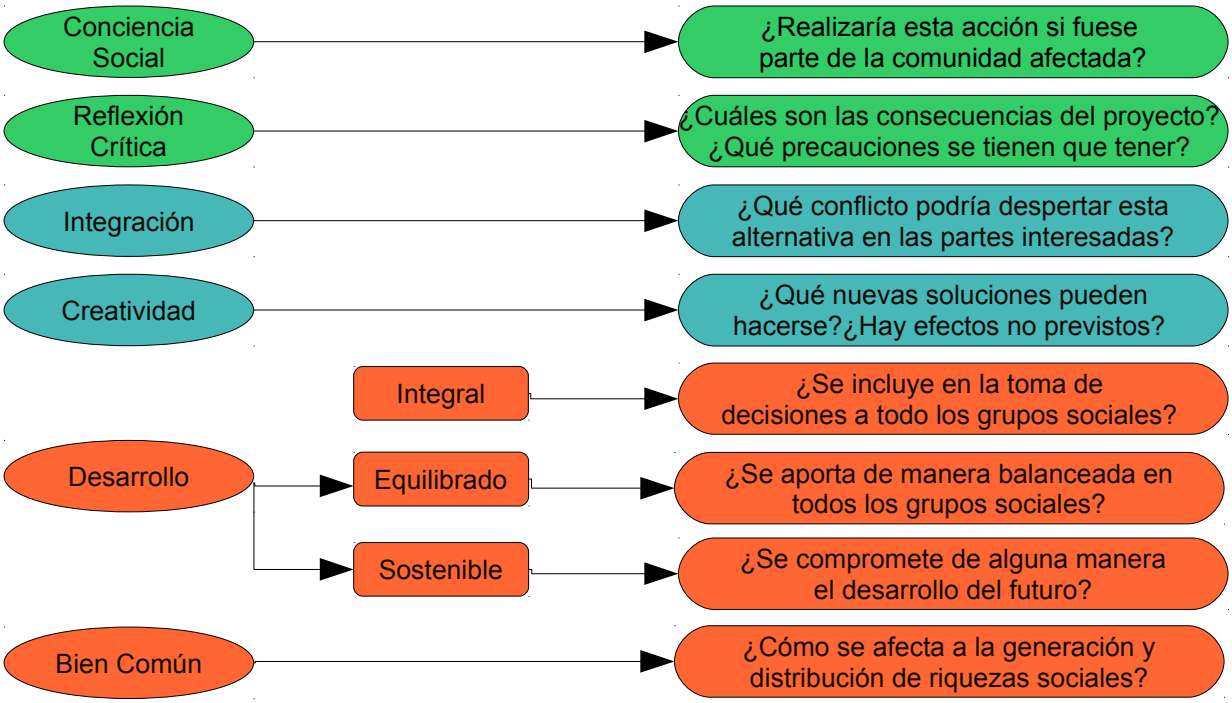

Figura 4, Representación gráfica de la Herramienta de Análisis Integral, elaboración propia

Las preguntas se agregan al algoritmo de toma de decisiones en base a las etapas Evaluación de Proyectos (ver figura 5). Así, cada una de las etapas (cuadrados celestes en la figura 5) además de responder sobre la factibilidad y rentabilidad del proyecto, deberá responderse a las preguntas de la HAIN (rombos anaranjados entre cada etapa). Luego de esto se decidirá si el proyecto pasa a la otra etapa(flecha desde el rombo a la siguiente etapa), se posterga (flecha desde el rombo a la misma etapa de análisis), o se desecha (flecha desde el rombo a la salida).

La idea es que, al igual que ocurre durante el proceso de la Evaluación de Proyectos, durante cada etapa se puede incluir información más detallada sobre cada pregunta. Además la iteración sobre la HAIN en cada etapa permitirá que aspectos dejados de lado en una evaluación inicial sean reconsiderados e incluidos en la elaboración de la propuesta de la siguiente etapa. En este sentido, la HAIN sigue la estructura de los informes *Ethos*[21], puesto que primero se detallan los hechos, luego se procede a un análisis y por último se establecen cursos de acción a seguir en tales situaciones.

Para ejemplificar la utilización del método, se procederá a analizar un caso de interés para la ingeniería química, en el contexto de la ética. Esto permitirá determinar las diferencias entre un análisis bajo exclusivamente los criterios técnicos y económicos y uno a la luz de los principios establecidos.

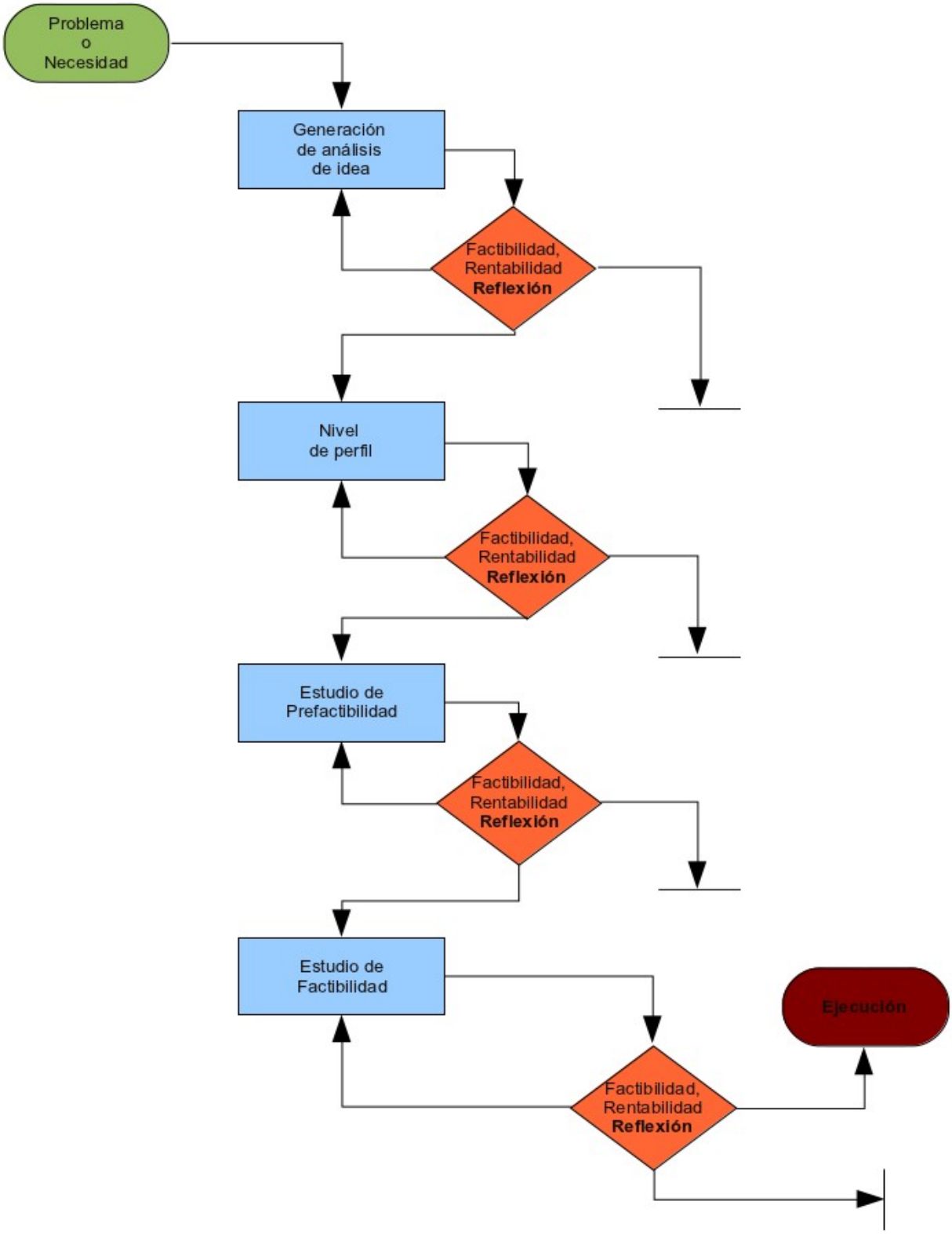

Figura 5, Algoritmo de las etapas de la Evaluación de Proyectos, elaboración propia

7.7. Caso

Con el fin de entender de manera práctica las consecuencias de la utilización de la HAIN es que se procederá a analizar lo acontecido tras la instalación y funcionamiento de la planta de celulosa Valdivia en la Región de los Ríos.

Esta situación es de interés para la ingeniería química debido a diversas razones. Desde el punto de vista técnico la tecnología para la producción de celulosa, *Elemental Clorine Free* (ECF); era por primera vez utilizada en el país. Este proceso se caracteriza por ser uno de los más limpios y grandes -tanto por el volumen de producción como por el nivel de inversión efectuado- de la industria del papel, dada la alta la concentración de organoclorados en los riles, que usualmente genera la producción de celulosa blanqueada tipo kraft[42].

Desde el punto de vista económico, la planta Valdivia era toda una promesa. Se trataba de un proyecto de cerca de US $ 1200 millones, con volúmenes de producción de 550 mil toneladas anuales, equivalente a US $ 350 millones anuales en ventas, con una vida útil de 20 años[43]. Este proyecto demostraba a su vez el gran crecimiento de la industria de la celulosa en el país, hoy en día el segundo sector exportador de la industria nacional[44].

Para la ciudadanía la planta fue causa de desconfianza desde el momento en que se decidió construir, en el año 1997[45]. Posteriormente, debido principalmente a la muerte de los cisnes del Santuario Carlos Anwandter, organizaciones ciudadanas como Acción por los Cisnes[46] se manifestaron en contra del funcionamiento de la planta, responsabilizándola de la muerte de las aves del Santuario[46], entre otros de los problemas que se relacionaron con las operaciones de la planta de celulosa.

El sector público cumplió un papel que fue bastante cuestionado por las organizaciones civiles y la ciudadanía. Las repercusiones sobre los organismos gubernamentales y el funcionamiento de los mismos llevaron a la modificación de la ley 19.300 que regulaba las condiciones ambientales de los proyectos realizados en el país, reemplazando a la Corporación Nacional del Medio ambiente (CONAMA) por el Ministerio del Medio Ambiente y el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)[47].

Científicos y académicos también se vieron envueltos en este caso, debido a la determinación de las causas de la muerte de los cisnes y otras aves del humedal, y posible la responsabilidad de la empresa en ello. Las investigaciones fueron múltiples, contradiciéndose unas con otras[48-52], poniéndose en duda la reputación y el prestigio de algunas instituciones, como lo acontecido en la Universidad de Concepción (de esto se da cuenta en la tesis de Alejandra Contreras, *Hacia una nueva etapa en la Gestión Ambiental Chile: el caso Celco*[47]).

Por todo lo anterior es que el caso de la planta Valdivia es de importancia ingenieril. Tanto por la magnitud del proyecto como por las múltiples situaciones en el plano ambiental, social económico y político que desencadeno la actividad de la planta.

El análisis contemplará las siguientes etapas: primero se describirán los hechos más significativos relacionados con la actividad de la planta, comprendidos en los años 1995 y 2005. Se mencionarán efectos negativos y positivos. A continuación se aplicará la Herramienta de

Análisis Integral (HAIN) y se sugerirá un curso de acción, siguiendo la estructura de análisis propuesta en los Informes *Ethos*[21].

7.7.1. Antecedentes

En 1995 la empresa Celco S.A., perteneciente al Holding Copec, decide construir una planta de celulosa en San José de la Mariquina, Región de los Ríos. La planta contempla la producción de celulosa blanqueada kraft. Se invertirían US $ 1045 millones y se implementaría un proceso de blanqueamiento para la celulosa del tipo ECF, lo que disminuiría la generación de organoclorados en los efluentes de la planta[53].

En 1998, Celco presenta un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) de carácter voluntario, de acuerdo a la ley ambiental vigente en ese entonces. El informe define un volumen de producción de 550.000 toneladas anuales de celulosa a partir de madera de pino radiata y Eucaliptus. La planta descargaría sus riles en la bahía de Mehuín en Maiquillahue, luego de ser sometidos a un tratamiento primario consistente en la neutralización y enfriamiento de los efluentes, y un tratamiento secundario que se trataría de un proceso de aireación extendida. Sin embargo debido a las manifestaciones de los pescadores y habitantes del lugar, la empresa se vió forzada a presentar una alternativa para la descarga de sus riles[54].

Celco decide modificar su EIA y como solución alternativa para la descarga de sus riles propone como lugar de descarga el río Cruces. Incluyendo para esta alternativa un tratamiento terciario de las aguas, con el principal objetivo de disminuir los efectos sobre el color del río.

En la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) 279/98[54] la Comisión Regional del Medio ambiente (COREMA) aprueba la construcción y operación de la planta de Valdivia, y la descarga de riles en el río Cruces. Esta aprobación se acepta sobre diversas condiciones, entre las que se cuentan que los riles nunca podrían ser descargados al río sin pasar por las tres etapas del tratamiento, salvo aprobación de la CONAMA en casos excepcionales como aumento del caudal del río. Otra de las condiciones era el estudio mensual de las comunidades biológicas, la calidad del río Cruces, así como su caudal. Celco argumentó que el seguimiento mensual de las comunidades biológicas era una condición excesiva, por lo que objetó esta condición a la CONAMA, siendo acogida la objeción. Dentro de las exigencias eliminadas, se descartó el seguimiento de comunidades biológicas y la bioacumulación de metales pesados en las especies Diplodón Sp (choritos de agua dulce) y Egeria Densa (también conocida como luchecillo)[55].

Luego de 22 meses de construcción y 5 años de retraso, de acuerdo con los planes originales, la planta Valdivia comenzó sus operaciones el 9 de febrero de 2004. La inversión asciende a más de US $ 1.200 millones, con una capacidad de producción de 700 mil toneladas anuales de celulosa kraft blanqueada de pino radiata y eucalipto, y un volumen anual de ventas de US $ 350 millones. Es la mayor planta de celulosa del país.

La planta es presentada como un proyecto modelo. Se utilizaría tecnología de punta para el tratamiento de los riles, el color del efluente no sería perceptible y no se tendrían problemas de olores. Se contaría con un tratamiento terciario para los efluentes y se implementarían diferentes equipos para el control de la contaminación atmosférica de los procesos de la planta[56].

A fines de febrero del 2004, los habitantes de San José de Mariquina percibieron fuertes olores provenientes de la planta. El evento se repetiría posteriormente en los meses de marzo y julio del mismo año. A esta molesta situación se suma una denuncia de los vecinos por descarga de emergencia de efluentes al río[57], efectuada durante marzo de 2004 sin permiso de la COREMA.

Las irregularidades por parte de la empresa se mantienen y en agosto del mismo año, la COREMA rechaza el primer informe de monitoreo trimestral presentado por Celco. Se omite información sobre la concentración de organoclorados, uno de los principales contaminantes de los riles de plantas de celulosa. La empresa es multada.

En octubre del mismo año son descubiertos los primeros cisnes de cuello negro muertos. Ambientalistas y organizaciones ciudadanas comienzan protestas masivas. Se organiza el movimiento "Acción por los Cisnes", que posteriormente tendría un papel protagónico en la denuncia de los problemas generados por la planta[47]. En el mismo mes, Celco es nuevamente multada (200 UTM, equivalente a $ 6 millones) por el atraso en la información de los organoclorados que se les había exigido en agosto.

El 13 de enero de 2005, Ricardo Lagos, Presidente de la República, concerta una reunión con Anacleto Angelini, principal accionista del holding Copec, dueño de Celco. Existe preocupación con respecto a la imagen país, los tratados de libre comercio y la incorporación de Chile a la OCDE.

"Acción por los Cisnes" manifiesta que la CONAMA cuenta con un informe de auditoría (MA&C consultores) que consta con 19 irregularidades de la planta Valdivia desde el 24 de agosto del 2004, siendo 6 de ellas consideradas como graves[57]. A eso se agrega el aumento de la producción de la industria en más de 300 mil toneladas anuales, las que no contaban con EIA inicial, así como la presencia de ductos de descarga ilegales.

El 18 de enero de 2005 la COREMA suspende el funcionamiento de la planta. El 9 de febrero la resolución es ratificada, alegando que Celco no había cumplido con la RCA de 1998 y no por la posible responsabilidad de la planta de celulosa en la muerte de los cisnes. Frente a esta resolución, Celco emitió una declaración pública que, en lo esencial, calificaba la medida de paralización como desproporcionada e injustificada[47].

A estas fechas, la CONAMA había solicitado a lo menos 2 informes que buscaban identificar las causas de muerte de los cisnes de cuello negro: a la Universidad Austral de Chile, UACh[48] y a la Convención Ramsar[49] (noviembre del 2004). Sin embargo, ninguno se consideró en la decisión de reapertura de la planta, meses después de la decisión tomada en enero del 2005.

El informe de la UACh planteaba principalmente lo siguiente:

- La causa primaria de la muerte de los cisnes de cuello negro del Santuario y humedales adyacentes fue inanición, debido a la disminución y/o desaparición de su alimento primario, el luchecillo (Egeria Densa).

- Los análisis de las características fisicoquímicas del agua del río Cruces, durante el período abril 2004 - enero 2005, evidenciaron que en el tramo en que se incorpora la descarga del riles de Celco al medio acuático ocurre un cambio significativo en la calidad de la columna de agua, analizado como aumento de la carga de Hierro y, por lo tanto, de la concentración de este.

- Se concluye que las actividades de la planta Valdivia de Celco han incidido de manera significativa en los cambios ambientales ocurridos en el humedal del río Cruces.

El informe Ramsar, elaborado por Miguel, por encargo de la Unión Internacional de la Conservación de la Naturaleza (UICN) [49], concluye lo siguiente:

- Los cambios de las características ecológicos e impactos ambientales en el Santuario del Río Cruces son reales, concretos y significativos .

- Los cambios ecológicos e impactos ambientales son producto de la acción mayoritaria y conjunta de distintos afluentes industriales de fuentes difusas que inciden en el Río Cruces -principalmente actividades agrícola y forestal-, como también emisores reconocibles como el proceso productivo de la Planta Valdivia de Celco.

- La mayoría de las hipótesis actuales vinculan los cambios de las características ecológicas (muerte de avifauna y desaparición de E. densa) a los RILES del tratamiento terciario de la Planta Valdivia de la empresa Celco, desechando otras teorías planteadas anteriormente, o fenómenos naturales.

- No existe certeza que el Santuario del Río Cruces y su humedal se esté recuperando efectivamente y no hay consenso sobre que un emisario al Océano Pacífico de los RILES de la Planta, puede ser la solución para evitar vertidos a las aguas del Río Cruces y su consecuente contaminación.

- No obstante lo dicho, existe certeza que los RILES de la PV han superado varios parámetros y exigencias ambientales para diversos compuestos y la gestión de la misma ha incurrido en irregularidades que han significado sanciones (multas y cierre temporal) aplicadas por las autoridades ambientales a la empresa Celco.

En general, los informes desarrollados entorno al funcionamiento de la planta[57,58] y los realizados a la causa de la muerte de los cisnes[48-52], destacan la falta de instrumentos de medición tanto puntuales para el río Cruces, como generales para el todo el santuario, así como el error de la CONAMA al no exigir mediciones de bioacumulación de metales pesados.

El 25 de mayo de 2005, la COREMA X Región analizó los antecedentes presentados por la Dirección Regional de Conama y por la propia Celco, a partir de lo cual los integrantes de la máxima instancia ambiental regional concordaron un diagnóstico acerca de lo ocurrido en el Santuario[47]. Tomando como causa de la muerte de los cisnes la desaparición del luchecillo, la COREMA resolvió que la actividad de la planta de Valdivia era la principal causante de tal desaparición[47].

Los efectos financieros del cierre representaban una menor venta de hasta US$ 1 millón diario y una menor utilidad de hasta US$ 250 mil por cada día de paralización de la planta . A esto se suman los problemas para más de 4000 trabajadores indirectos relacionados y los 350 contratos directos de la planta Valdivia[59].

El 12 de agosto del 2005 Celco depuso la paralización de sus actividades tras un largo alegato con las autoridades. Para tales efectos la empresa se comprometió a implementar una serie de medidas de acuerdo a lo resuelto por la COREMA[60]:

- La empresa debe proponer una opción para descargar sus riles, distinta del río Cruces, del Santuario de la Naturaleza y de sus respectivos afluentes.

- Reducir el volumen de producción autorizado, que será rebajado en un 20% respecto de su máximo anual permitido.

- La planta estará obligada a ajustar numerosos parámetros en su descarga de riles.

- Celco deberá implementar nuevas medidas de control y seguimiento, y prolongar la auditoría nacional hasta que se haya implementado la descarga fuera del río Cruces.

Sin embargo la resolución de la COREMA no estuvo exenta de críticas. Una de las más fuertes provino de los científicos que participaron en el estudio de la UACh, ya que consideraron que la Corema no se había hecho cargo de la magnitud de las conclusiones de su estudio, y de los riesgos que enfrentaba el Santuario con la continuidad de las actividades de la planta[47]. La única solución aceptable para los ecologistas y ciudadanos de Valdivia habría sido una nueva suspensión de las actividades de Celco, porque ésta no capacidad de asegurar un estricto cumplimiento de las nuevas condiciones de funcionamiento dispuestas por la COREMA.

Durante los años siguientes la empresa intentó en múltiples ocasiones aumentar la capacidad productiva de la planta según constata la pagina web del SEIA[43], así como mejoras al tratamiento de los efluentes. En este ámbito la empresa envío un proyecto para modificar la descarga de sus riles y enviarlos a la bahía Mehuín como en un principio se había formulado. La modificación fue aprobada el 2011.

7.7.2. Irregularidades

A continuación se listan faltas cometidas durante el funcionamiento de la planta de celulosa Valdivia desde el inicio de sus operaciones. Además, en los anexos se incluye una breve lista de sanciones registradas por la planta Valdivia

- El caudal del río Cruces aguas abajo de la descarga de efluente de la planta era 1,2 veces el caudal ecológico permitido por la autoridad (9,5 m3/s contra un límite de 6 m3/s). La empresa no informó esta situación[57].
- Las condiciones físico-químicas del río Cruces se encuentran dentro de lo permitido por la RCA según el informe del ingeniero químico Claudio Zaror[58]. Sin embargo, la conductividad eléctrica y la temperatura (33°C) presentan variaciones con respecto a las

condiciones del río aguas arriba.

- Cloro disuelto, Hierro soluble, Aluminio, AOX, Sodio también presentan variaciones con respecto a las condiciones de entrada de las aguas del río Cruces[58].
- Los informes realizados a las comunidades bióticas (Instituto de Investigación Pesquera) a finales del 2004, mostraban variaciones con respecto a la linea base (1995). Mas no se cuentan con informes más recientes de modo de mejorar la comparación[58].
- La empresa no demuestra iniciativa: si bien presentan los informes requeridos, no existe un análisis de los posibles efectos del cambio en su efluente y la influencia de este en el río[58].
- Aumento de la producción de 550.000 a 850.000 [Ton/año][57].
- Descarga alternativa y descarga de una mezcla de aguas lluvias con aguas de proceso[57].
- Presencia de laguna de emergencia con una capacidad de almacenamiento superior a lo estipulado en la RCA aprobada[57].
- Construcción de ducto de emergencia clandestino que no había sido aprobado por la RCA ni informado por Celco a la autoridad[57].

7.7.3. Impactos positivos en la región

La presencia de la planta también contribuyó al desarrollo económico de la región, lo que se detalla a continuación[54,59]:

- *Empleos*: 1.200 millones de pesos mensuales para la zona, contratando un total de 4.728 puestos de trabajo distribuidos en 258 empleos directos, 427 contratos permanentes, 318 habituales y 3725 en contratos forestales, además de 525 proveedores de madera que aportan el 40% de las necesidades de la planta.
- Mejoramiento de infraestructura de escuelas de Mariquina y Rucaco.
- Mejoramiento camino estación Rucaco.
- Abastecimiento del sistema de agua potable en Rucaco.
- Concurso de proyectos para juntas de vecinos y participación en campaña “Un techo para Chile”.
- Auspicio de programa de difusión de Dirección de Desarrollo Comunitario (DIDECO).
- Entrega de prácticas a estudiantes de la provincia pertenecientes a colegios técnicos vinculados con aspectos forestales.
- Aporte de cerca de 10 MW (equivalente al 20% de la energía generada por la planta) al sistema de interconectado, lo que equivale al consumo de toda la provincia de Valdivia, disminuyendo los cortes de suministro eléctrico.

7.7.4. El proceso

La celulosa es la principal componente de la madera. Es básicamente una fibra vegetal

que varía en longitud y espesor según el tipo de árbol. En Chile, las materias primas más usadas por la industria de la celulosa Kraft son las maderas blandas correspondientes a *Pinus radiata* y las maderas duras correspondientes a *Eucaliptos globulus*. Ambas especies son cultivadas en el país, principalmente desde la VII a la X región, con un buen nivel de productividad y tasa de madurez tanto para pino (20-25 años) como para eucaliptos (10-15 años)[61].

El proceso Kraft usado en la planta Valdivia para producir pulpa blanqueada, apunta a separar las fibras de celulosa de los demás componentes de la madera, principalmente de la lignina (figura 6) . En este proceso la madera previamente astillada (recuadro *Maderas* en figura 6) se somete a cocción en digestores, usando una solución de hidróxido de sodio (NaOH) y sulfuro de sodio (Na_2S) conocida cono licor blanco, a condiciones controladas de alta temperatura y presión, de modo de remover la lignina de la estructura de la madera y así liberar las fibras de celulosa.

La masa de fibras de celulosa, que se denomina pulpa, pasa al proceso de lavado en donde es tratada con agua y sigue a los procesos siguientes de remoción adicional de lignina, primero con oxígeno y finalmente con otros agentes de blanqueo, tal como se muestra en la figura 6. El licor blanco en conjunto con la lignina disuleta se convierte en una solución acuosa residual muy compleja, denominada licor negro. Este se concentra para ser quemado por calderas recuperadoras y generar así energía y vapor, que se utiliza en la producción de energía eléctrica para calefaccionar toda la planta. La parte inorgánica del licor negro, que no combustionó, es usado en etapa de caustificación, regenerando el licor blanco usado en la digestión, gracias al enriquecimiento con cal[61].

En el proceso de blanqueo se pierde entre un 5 y 9% de la pasta de celulosa cruda proveniente de la etapa de lavado. Luego, la pasta blanqueada es preparada para su secado (bloque *Máquina* en figura 6), la cual contiene un altísimo porcentaje de agua (98-99%). Además, la pasta toma la forma de una lámina uniforme. Para ello se utilizan varios rodillos, los cuales con la ayuda de la gravedad y bombas de vacío, sacan el agua de la pasta.

De esta forma se obtiene pulpa blanqueada, que una vez secada se exporta en forma de láminas para la elaboración de papel[54]. El consumo de insumos, para una producción de 550.000 toneladas anuales es presentada en el Anexo B.

La función del Tratamiento de riles es adecuar los efluentes tal que permita satisfacer los requerimientos y parámetros ambientales exigidos por la legislación Chilena y, en particular, de las exigencias propias de la Planta Valdivia, de acuerdo a los compromisos adoptados en la RCA 279/98[54], y también de acuerdo al D.S. N° 90 que regula la descarga de contaminantes de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales[62].

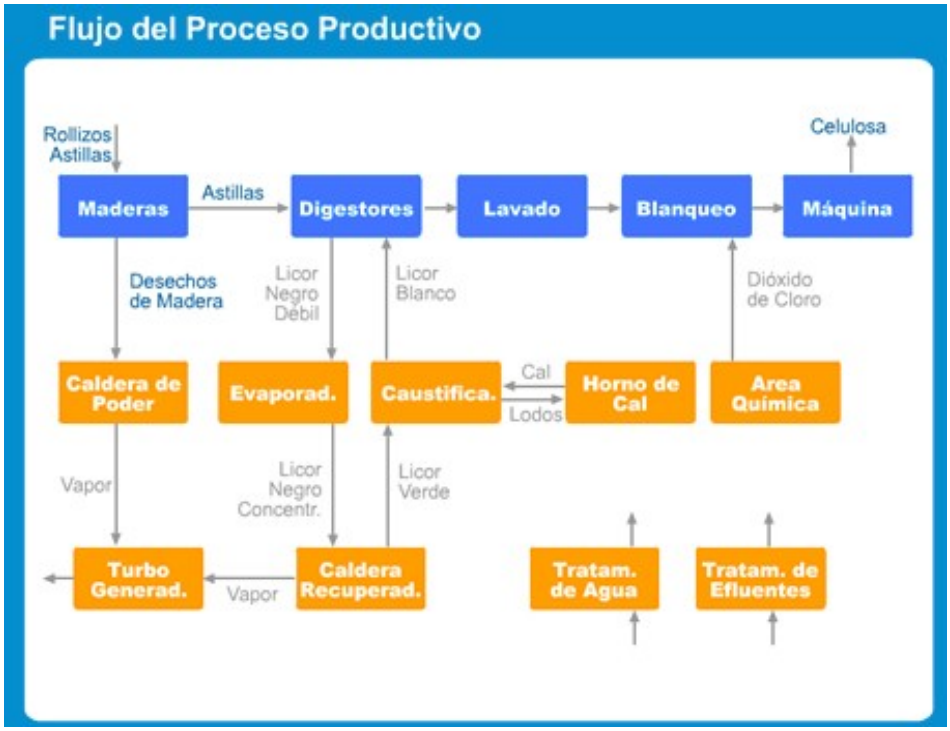

Figura 6, Esquema representativo de los flujos del proceso, Celco[43]

Este sistema de Tratamiento de riles tiene como objetivo[63]:

- Clarificar el efluente, sedimentando los lodos.
- Neutralizar el efluente.
- Bajar la temperatura del efluente.
- Disminuir la carga orgánica y los compuestos clorados del efluente, disminuir nitrógeno y fósforo.
- Disminuir el color del efluente.
- Tratar los lodos primarios, secundarios y terciarios.

Para completar los objetivos, el tratamiento de riles cuenta con las siguientes 3 etapas:

1. Tratamiento Primario: la finalidad de este sistema es la clarificación, neutralización y enfriamiento del efluente.

   La separación de los sólidos tiene dos etapas: separación mecánica gruesa y decantación por diferencia de densidad de las partículas con el agua. La primera de estas etapas es realizada en una cámara de separación gruesa (C en la figura 7), en donde el efluente general de la planta pasa a través de un Harnero de barras que retiene los sólidos de sobre-tamaño (astillas, corteza o cuerpos extraños del proceso) . Estos sólidos son retirados del Harnero mediante un sistema de barras limpiadoras, para ser depositados en el denominado Bunker de Rechazo. Posteriormente el efluente pasa al clarificador primario (E en la figura 7) en donde los sólidos remanentes son separados en un proceso de

decantación. El sobrenadante, libre de sólidos, pasa a la Cámara de efluente general clarificado (F en la figura 7), pudiendo continuar el proceso, o bien descargarse en la Laguna de Demarres (H) cuando existen anomalías en el proceso (como pH extremos fuera del rango de operación) o ante caudales muy altos. El lodo restante de la clarificación es enviado al Mezclador de Lodos para su posterior tratamiento.

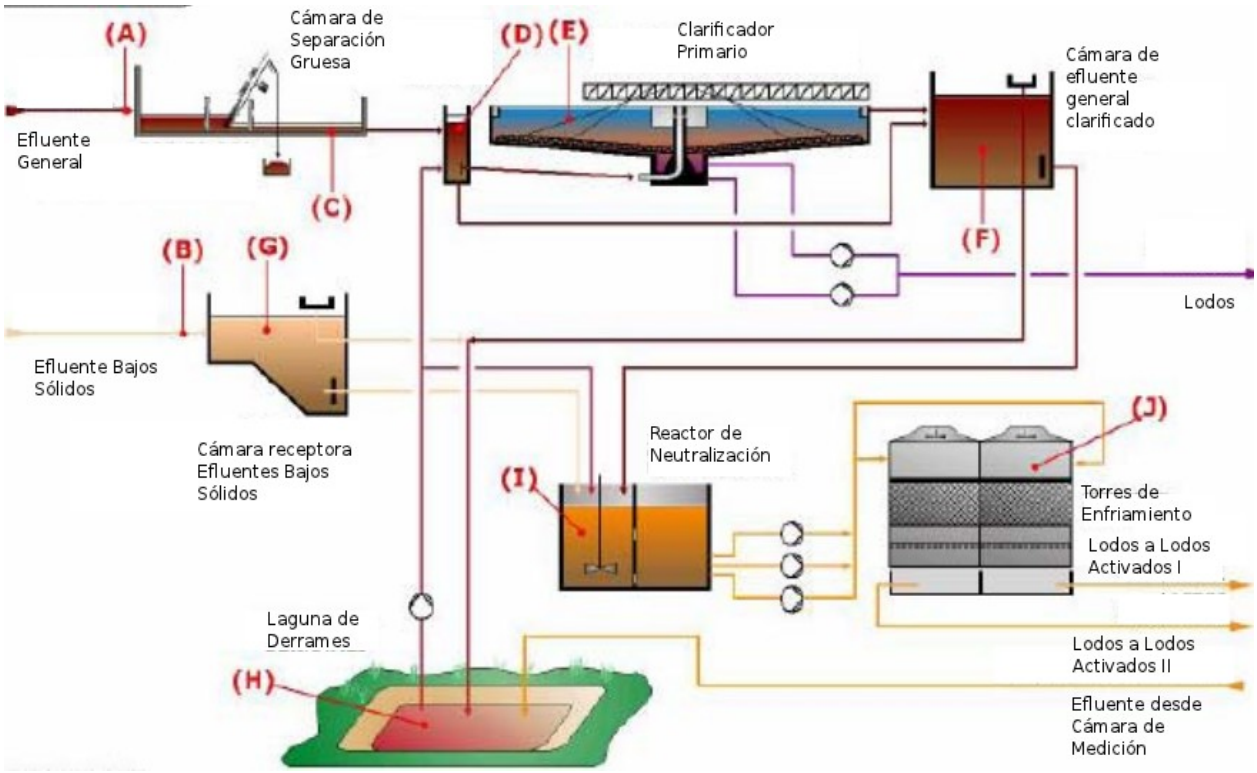

Figura 7, Tratamiento Primario de Efluentes, adaptado del trabajo de Kiessling, Implementación de un Plan Piloto aplicando Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en Planta de Tratamiento de Efluentes de Celco[62].

La neutralización se realiza adicionando soda o ácido sulfúrico según corresponda. Para ello, el efluente clarificado ingresa desde la Cámara de efluente general clarificado al Reactor de Neutralización (I). Además, el efluente denominado Bajos Sólidos, correspondiente al efluente recirculado desde el Tratamiento Terciario. Durante la neutralización, el pH del efluente es medido en línea de modo de agregar soda o ácido y llevar el pH del efluente a los rangos de operación requeridos por el resto de los proceso de tratamiento. Las Torres de Enfriamiento (J) son las encargadas de bajar la temperatura del efluente. Esta variable es de vital importancia para garantizar el éxito del Tratamiento Secundario .

2. Tratamiento Secundario: este sistema tiene por finalidad reducir la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) del efluente mediante un proceso de degradación biológica. Además,

cuenta con un Clarificador Secundario, el cual sedimenta los lodos, obteniéndose un efluente clarificado. Las principales características del Sistema de tratamiento Secundario son: la descomposición (reducción) del BOD, la descomposición del Clorato proveniente del efluente del área de Blanqueo. Todo lo anterior con una mínima generación de lodo biológico .

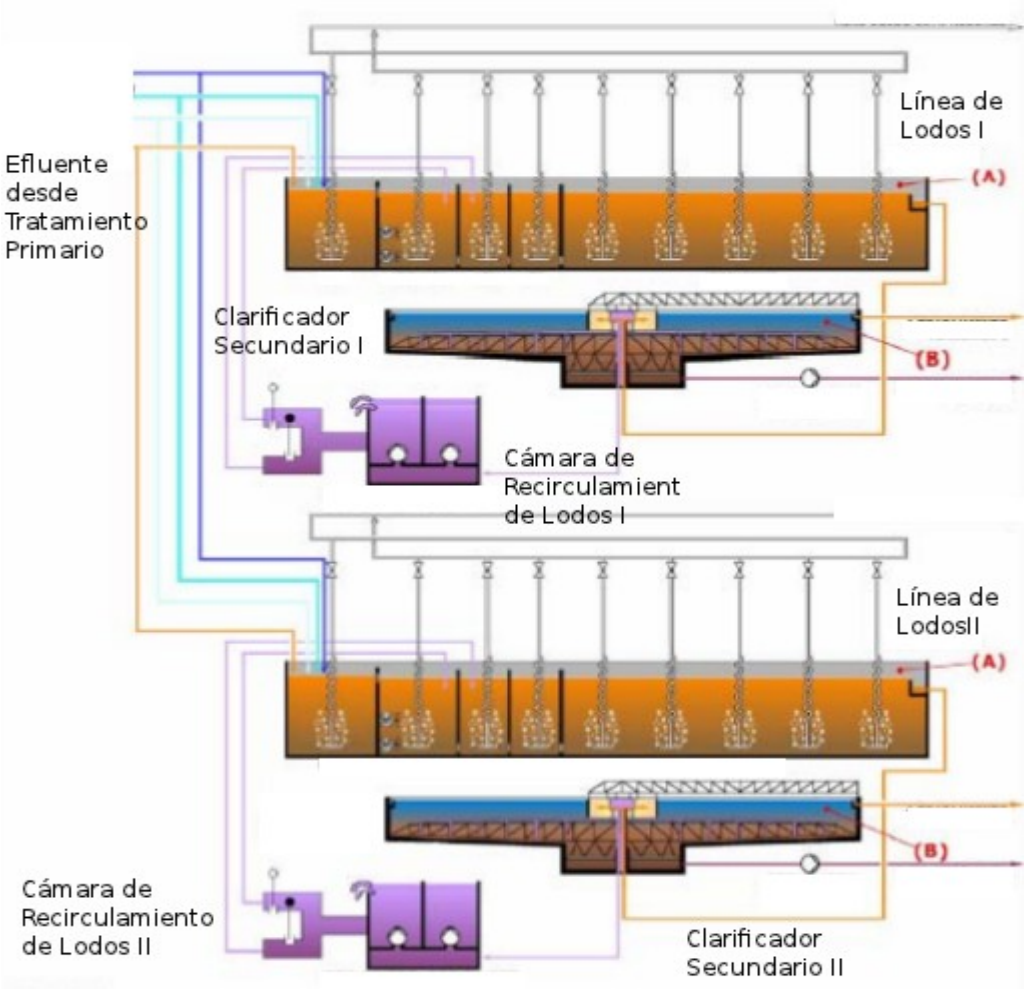

Figura 8, Tratamiento Secundario de Efluentes, adaptado del trabajo de Kiessling[62].

La figura 8 esquematiza el Tratamiento Secundario. El efluente proveniente del tratamiento primario es dividido en un efluente que va al tratamiento de lodos activados I (A en la figura 8) mientras que el resto pasa a la segunda línea de lodos. Luego de un proceso de aireación, el efluente pasa al clarificador secundario (B en la figura 8) en donde los lodos son separados del efluente debido a la decantación. Parte de estos lodos son recirculados a las líneas de lodos de modo de mantener constante la materia orgánica dentro del tratamiento biológico. La otra parte de los lodos, aquellos más pesados, son enviados al Mezclador de Lodos, para su tratamiento y disposición.

3. Tratamiento Terciario: este sistema tiene por finalidad decantar los coloides (partículas

que no decanta) suspendidos en el efluente y que son responsables de su color. El efluente clarificado resultante es enviado al canal Parshall y luego derivado al río Cruces. También cuenta con un sistema de tratamiento de lodos. Estos lodos se prensan en las dos Líneas de Prensas, para obtener un lodo bastante seco, el cual es enviado al Galpón de Corteza e incinerado en la Caldera de Biomasa.

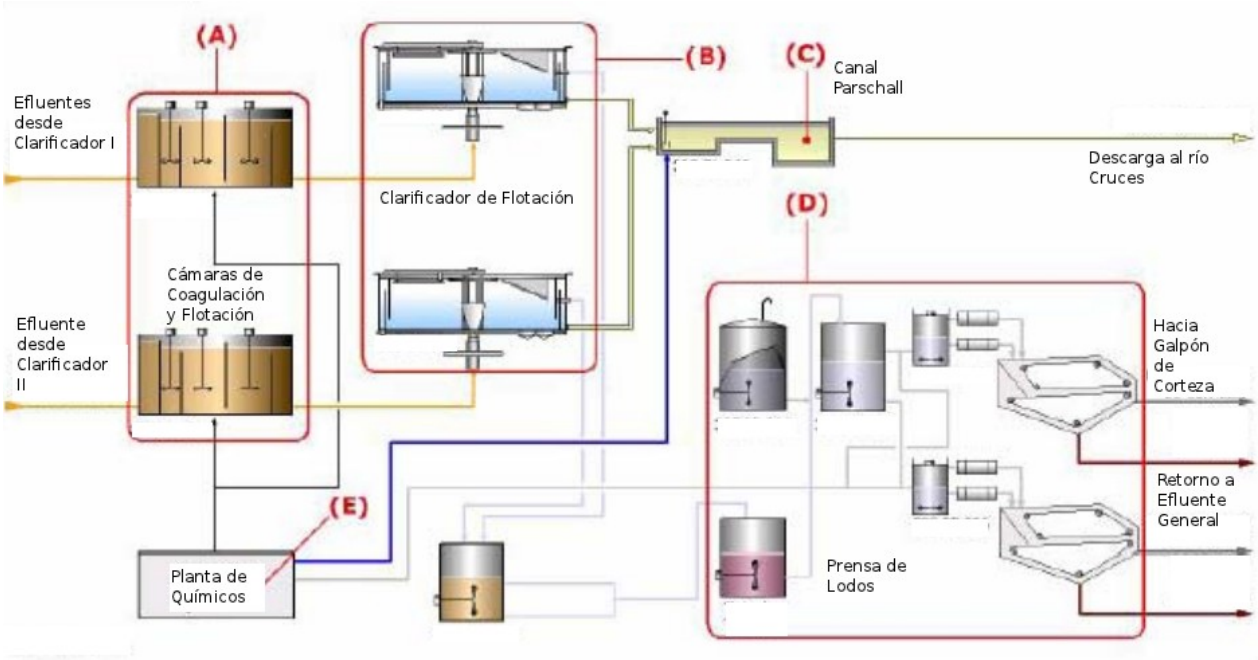

Figura 9, Tratamiento Terciario de Efluentes, adaptado del trabajo de Kiessling[62].

El proceso es descrito con mayor detalle en la figura 9. El efluente proveniente de los Clarificadores Secundarios pasan a las Cámara de Coagulación y Floculación (A en la figura 9) en donde se le adiciona Sulfato de Aluminio al efluente para desestabilizar las cargas negativas del Coloide (Coagulación). A ello se le suma una fuerte agitación para asegurar una buena mezcla. También se agrega una macro molécula de Poli Electrolito para formar los flóculos.

El efluente es descargado por gravedad al Clarificador por Flotación (B en la figura 9) el cual cuenta en su fondo con un Anillo de Agua de Dispersión, que genera burbujas de aire gracias a la acción de un compresor. Las burbujas de aire viajan a la superficie del Clarificador, capturando las partículas de lodo y coloides, las cuales son retiradas por un Desnatador Rotatorio en la superficie del Clarificador hacia el Anillo Colector de Lodo Fino. Este lodo, en conjunto con el lodo de los clarificadores es enviado al tanque de Flotación de lodo (D). El efluente clarificado pasa por un canal Parshall para regular su velocidad y descargarse finalmente en el río Cruces.

Por otra parte el lodo generado durante el tratamiento de efluentes pasa al tanque Espesador de Lodos y finalmente a las Prensas de Lodos. En las Prensas, el lodo es prensado hasta obtener un lodo entre un 20 y 30% seco. Luego el lodo es descargado a la Correa de Lodos y para ser enviado a vertedero. El filtrado se recircula nuevamente al Tratamiento Primario (Bajos Sólidos).

7.7.5. Análisis del caso

7.7.5.1. Consideraciones

Como supuesto se tendrá que la construcción y operación del proyecto planta de celulosa Valdivia, constituía una alternativa técnicamente factible y económicamente rentable para el tomador de decisiones, es decir, Celco. Esto tendrá validez tanto para el proyecto de la planta considerando una descarga de riles en la bahía de Mehuín, como para la alternativa de descarga en el río Cruces. Este supuesto se sustenta en que el tipo de evaluación que se realizó del proyecto fue privada y que por lo tanto, la alternativa efectuada debé responder a los criterios técnico-económicos, ya mencionados en los antecedentes dentro de lo referido a evaluación de proyectos. Además, el análisis se limitará, como fue mencionando al comienzo de esta sección, a lo acontecido entre los años 1998 a 2004.

Es importante aclarar que el objetivo de la HAIN es el determinar las posibilidades que se generarían tras la implementación de la BEP como sustento de la toma de decisiones. No es el fin de este estudio la determinación de las posibles influencias del funcionamiento de la planta en la muerte de los cisnes de cuello negro y el estado del Santuario Carlos Anwandter.

7.7.5.2 Aplicación de la Herramienta de Análisis Integral

Dado que el objetivo de la HAIN es la reflexión cualitativa, es que se procederá a estudiar el caso Celco desde las preguntas formuladas para cada principio de la BEP. El análisis se ubica entre la etapa de Estudio de Factibilidad y Ejecución del proyecto Celco.

7.7.5.2.1. Conciencia Social

¿Realizaría este proyecto si fuese parte de la comunidad afectada?

En el momento de la realización, la planta de celulosa Valdivia era la más grande del país, por lo que la empresa Celco decidió presentar un EIA voluntario a la COREMA de la región de los Lagos, en 1997[43]. En tal EIA, Celco estimaba conveniente que la descarga de los riles se hiciese por medio de un emisario submarino luego de un tratamiento de 2 etapas para los efluentes. El lugar de salida proyectado era la bahía de Maiquillahue, con un trazado de 35 km de longitud[43]. Sin embargo, las mediciones necesarias para el estudio nunca pudieron llevarse a cabo. La pescadores de Mehuín, en conjunto con comunidades mapuches de la zona se opusieron desde el primer momento, impidiendo la entrada de los encargados de tomar las mediciones.

Este hecho, la imposibilidad para tomar las mediciones pertinentes, demuestra claramente la dificultad que tuvo Celco para empatizar con la comunidad pesquera que vería afectada -o que al menos así lo creía[45]- su principal sustento. La empresa fue incapaz de establecer algún tipo de diálogo con la comunidad o garantizar que la actividad pesquera no se vería afectada por la descarga de riles.

Debido a esto Celco debió ofrecer una alternativa, que fue la descarga de sus riles en el río Cruces, aprobado en la RCA 278/98. Si bien la empresa manifiesta interés en no alterar las características del río -de ahí que uno de sus parámetros de diseño de importancia sea el color de

sus efluentes- también objeta las exigencias hechas por el COREMA con respecto a los estudios de bioacumulación de metales pesados para los choritos de agua dulce y el luchecillo; y a los períodos de toma de muestra mensuales que se les requería[55]. Si se considera además que el río Cruces es el principal alimentador del humedal y que este es un sitio Ramsar[e], entonces debería ser preocupación de los ingenieros a cargo del diseño y operación el mantener las condiciones medioambientales de la zona de modo de no afectar a la población circundante, que en este caso, se beneficia del turismo de la zona.

Los informes de los consultores MA&C y Claudio Zaror, realizados en el año 2004 y 2005 respectivamente, también critican el hecho antes mencionado, sugiriendo el aumento de muestreos de parámetros relacionados con la calidad de las aguas del río Cruces[57], así como incrementar la frecuencia de análisis de las comunidades biológicas del río a una periodicidad trimestral[58]. También se recomienda la inclusión de la especie *Lutra provocax*, conocida en la zona como huillín, especie en riesgo de extinción que habita en las cercanías de la planta[43]. El informe de Zaror señala la importancia de contar con muestreos de biomarcadores bioquímicos característicos del cuerpo receptor con una frecuencia trimestral[58].

Por lo tanto, si Celco hubiese tenido conciencia con respecto a la importancia del humedal para la comunidad, habría mostrado interés no solo en el color del efluente, sino también en mantener las condiciones de la flora y fauna del lugar, considerando el rol del río Cruces sobre el Santuario Carlos Anwandter y la alta vulnerabilidad y complejidad de la ecología del humedal.

Otro perjuicio directo cometido por la operación de la planta sobre los habitantes de San José de Mariquina y Rucaco, fue la emisión de olores durante los primeros meses de funcionamiento entre febrero y marzo del 2004 y posteriormente en julio del mismo año[64]. El error de Celco fue no contar con un sistema de incineración de gases ante contingencias, como cortes de electricidad. Ante ello, la empresa tuvo que invertir $ 6,5 US millones, suma mínima comparada con la inversión inicial de $ 1.045 US millones. Debido a esta falta, la población no solamente sufrió la incomodidad de tener que soportar los olores de la planta, sino que también presentaron efectos en su salud, como jaquecas, náuseas y mareos[45]. Esta constituye una de las primeras y más relevantes causas por las cuales la población cercana empezó a mostrar desconfianza por la presencia de la planta Valdivia.

Los tomadores de decisiones fueron incapaces, por lo tanto, de reconocer las características culturales e intereses de las zonas de Maiquillahue, Mariquina y Rucaco. Tampoco se consideró la influencia que podía tener la presencia de la planta en otras actividades como la agrícola y turística, actividades de importancia en la zona[65].

7.7.5.2.2. Reflexión Crítica

¿Cuáles son las consecuencias del proyecto? ¿Qué precauciones se tienen que tener?

e El primer humedal que se incorporó al Convenio Ramsar fue el humedal del Santuario Carlos Anwandter. La Convención de Ramsar sobre los humedales se elaboró como forma de llamar la atención internacional sobre el ritmo con que estos hábitat estaban desapareciendo, en parte, debido a la falta de comprensión de sus importantes funciones, labores, bienes y servicios. Chile está suscrito al Convenio desde el 27 de noviembre de 1981, contando con más de 10 sitios a lo largo del país. La Convención fue aprobada como Ley de la República en septiembre de 1980, D.S. N° 771 Ministerio de Relaciones Exteriores.

Los conflictos que usualmente se generan producto de la industria de la celulosa[42,66] son la descarga de riles con un alta concentración de sólidos suspendidos totales (SST), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y presencia de halógenos orgánicos absorbibles (AOX), siendo estos últimos causantes de daños a la salud humana como a la vida acuática; generación de compuestos orgánicos volátiles azufrados responsables de los malos olores y emisión de partículas; posible eliminación de los bosques nativos, disposición de residuos sólidos y consumo intensivo de agua.

La descarga de riles siempre fue un problema para Celco. Tanto por el tratamiento que se debía realizar al efluente como por la localización de las descargas. Ambas propuestas están dentro de lo exigido por la ley[43,54]. Sin embargo en el caso de la descarga en el río Cruces, las consecuencias sobre el humedal no fueron un factor determinante en el diseño o en el programa de monitoreo del cuerpo receptor[58].

Si se considera el volumen de producción de la planta, la utilización de una nueva tecnología en el país como el blanqueamiento mediante un proceso ECF, la vulnerabilidad del humedal y las características del cuerpo receptor, las precauciones y medidas preventivas de adoptadas por Celco pueden calificarse como insuficientes. En el mismo EIA de 1998 se exigen estudios para asegurar que la flora y fauna del río Cruces no se verá afectada por la operación de la planta. Mas Celco, se limita al estudio de las especies estándar. Este hecho es nuevamente señalado por Zaror.

Otra prueba de que Celco no fue capaz de cumplir con las medidas legales exigidas, se encuentra en el informe de MA&C Consultores, en donde se muestra la presencia de un canal de descarga clandestino. Es decir, no incluido en el EIA, para la descarga de riles. Esto contradice lo requerido por la CONAMA en la RCA 279/98, que exige que todos los efluentes de la planta deben ser sometidos a las 3 etapas del tratamiento y que en caso contrario, debe informarse cualquier anomalía. De acuerdo a esto, puede decirse que Celco cometió faltas graves en la ejecución de su trabajo

Un factor clave para estimar los efectos en el tiempo del funcionamiento de la planta sobre el entorno es el levantamiento de la información de la línea base, presentada en los EIA enviados en 1997 y 1998. La línea de base contiene datos sobre la meteorología, hidrología, oceanografía, geomorfología, calidad del aire y del agua, flora y fauna, vegetación y situación económica del medio cercano a la planta de celulosa. Sin embargo la calidad de la información, específicamente aquella relacionada con la biodiversidad del río Cruces[48], es calificada como insuficiente[49,57,58] y desfasada puesto que los últimos datos disponibles son de 1998 siendo que la planta comenzó a operar en el 2004. Debido a esto es que es difícil el establecer con claridad consecuencias de la actividad de Celco sobre el río y, por consecuencia, el humedal[52]. Esta información le hubiese permitido a Celco realizar efectivos planes de monitoreo y mitigación, y, porque no, exculparlos de la crisis ambiental del Santuario Carlos Anwandter.

7.7.5.2.3. Integración

¿Qué conflictos podría despertar el proyecto a las partes interesadas?

Primero es necesario identificar a las partes interesadas, entendidas como aquellas cuyo bienestar puede verse afectadas o beneficiado por la presencia y operación de la planta. De acuerdo a esto se pueden mencionar a las comunas de San José de Mariquina, Lanco y Mafil, y en general, la provincia de Valdivia (figura 10); también a las comunidades ligadas al turismo en el Santuario, usuarios del río Cruces, población ligada al sector forestal y proveedoras de insumos, organizaciones ambientalistas e instituciones gubernamentales reguladoras, de acuerdo a lo observado en el EIA [54]. Adicionalmente, se puede incluir a la comunidad de Maiquillahue, cercana a la bahía de Mehuín.

En cuanto a los conflictos, algunos ya se han mencionado, como la descarga de riles en Mehuín y los malos olores registrados en Mariquina. A estos se puedem agregar los cambios percibidos en el color del río[45] y la falta de comunicación con las instituciones reguladoras en cuanto a las demoras en las entregas de los informes, lo que recayó en sanciones y consecuencias económicas para Celco (Anexo C).

Sin embargo, la mayor complicación que debió enfrentar Celco, fue la desconfianza generada en las comunidades y las organizaciones ambientalistas. La empresa no logró establecer un medio de comunicación con las comunidades de la bahía de Maiquillahue con el fin de realizar las mediciones para la posibilidad de descargar sus efluentes en el mar. Así mismo, se le ligó directamente con la muerte de los cisnes del Santuario. Si la tecnología ECF disminuía la presencia de AOX, si el tratamiento de 3 etapas además reducía el contenido orgánico y la concentración de SST, ¿por qué Celco no intentó trabajar directamente con las comunidades en este ámbito?

Los hechos demuestran que la inclusión de las comunidades no fue un factor determinante en el desarrollo del proyecto Valdivia. Podría llegar a pensarse lo contrario, que para Celco la opinión ciudadana fue un obstáculo para el funcionamiento de la planta. Ahora bien, lo que se busca es que los ingenieros a cargo encuentren el punto de entendimiento con las partes interesadas, hecho que nunca ocurrió. Esto porque la ingeniería no es solamente la aplicación de técnicas, sino que es una forma social de la técnica[2]. Una disciplina tiene sentido en la medida que dispone sus medios a la sociedad, de ahí la importancia de relacionarse con los grupos sociales, más cuando estas se manifiestan públicamente en contra de los proyectos ingenieriles.

7.7.5.2.4. Creatividad

¿Qué nuevas soluciones pueden efectuarse? ¿Hay efectos no previstos?

Considerando que la industria de la celulosa es una de las industrias más contaminantes en países como Estados Unidos y Canadá[42], es más que necesario el planteamiento de proceso productivos amigables con el medio ambiente. Ante ello, la idea de Celco de contar con un proceso ECF que reduce la generación de dioxinas y otros contaminantes en el efluente, parece bastante adecuada.

A pesar de la disminución de los contaminantes presentes en el efluente debido al proceso *ECF*, el tratamiento de los efluentes sigue siendo una necesidad para este tipo de procesos, lo que además es exigido por la autoridad ambiental. Si bien el tratamiento propuesto por Celco suele ser de los más usados para efluentes provenientes de plantas con un proceso *kraft*[42], puede

cuestionarse el agente coagulante escogido: sulfato de aluminio. Varios trabajos recopilados por Pokherl y Viraraghavan[42] muestran que el quitosano es un mejor agente para la remoción de AOX y color. Sin embargo, para recomendar otro coagulante, se debería contar con información sobre la disponibilidad en el mercado, remoción, uso, y antecedentes sobre el medio, con especial consideración sobre los efectos que tendría en el río Cruces y, por consiguiente, en el humedal.

En general, de acuerdo a los informes de Zaror y la auditoría en terreno efectuada por los consultores de Centro Nacional de Tecnologías Limpias (CNTL SENAI), la tecnología empleada por la planta es adecuada en relación a otras plantas de celulosa en le mundo. Mas, estos informes y también el informe de MA&C consultores, critican su poca previsión y falta de capacidad resolutiva[57,58,68]. Prueba de ello son el problema de los olores y la falta de incineradores adicionales, el control de los derrames y la variabilidad de la producción. De acuerdo a esto, que la cantidad de factores considerarse por Celco fue insuficiente según lo propuesto por la HAIN.

Sobre ese último punto, es relevante mencionar que no existe claridad con respecto a la producción de la planta Valdivia. Según el EIA la producción de la planta debería ser del orden de las 550.000 toneladas anuales, siendo que Celco reporta en su memoria anual un total de 430.000 toneladas como producción total durante el año 2004. Mientras que el informe MA&C reportaban en agosto del 2004 que el ritmo de producción de la planta equivalía a un volumen de 850.000 toneladas anuales de celulosa. La variabilidad de la producción también se ve reflejada en las concentraciones y volúmenes recibidos en el tratamiento del efluente[58,68]. Si bien, de acuerdo a lo reportado por el informe de Claudio Zaror, el tratamiento de efluentes se muestra flexible, existen ciertos días en donde los niveles de pH, AOX y otros elementos se mostraron particularmente altos, llegando a superar los límites exigidos en la RCA 279/98. Si bien, no existe información con respecto a los efectos sobre el humedal o algún otro tipo de consecuencia, no deja de ser un hecho relevante en cuanto a las medidas precautorias planteadas por Celco ante tales situaciones. Si se espera que los caudales sean tan variables ¿por qué no contar con tanques de ecualización de flujo, o por qué no regularizar debidamente las lagunas de emergencia que fueron encontradas por los consultores de MA&C?

Figura 10, Ubicación geográfica de la Planta Valdivia, Celco[67]

Si bien, es claro que Celco intentó obrar creativamente, contando con un proceso ECF, y con un flexible tratamiento de efluentes, faltas como la ausencia de un incinerador para los gases o la construcción de una laguna de emergencia no informada a la COREMA, muestran que la poca capacidad predictiva de la empresa, así como su falta de compromiso con el cuidado con el medio ambiente.

Considerando la cercanía del humedal del río Cruces y de la población de Rucaco, las precauciones tomadas por Celco deberían haber sido extremas. Más aún, si se piensa en los conocidos efectos sobre el medio ambiente causados por la industria de la celulosa. En este sentido, los esfuerzos de la empresa se califican como insuficientes.

7.7.5.2.5. Desarrollo

Integral:¿Se incluye a todos los grupos sociales en la toma de decisiones?

Como se viene mencionando, Celco no fue capaz de conjugar sus intereses con los de la comunidad de San José y sus alrededores. Si bien, es labor de la ingeniería el poder levantar una planta de celulosa de gran nivel de producción, con una nueva tecnología más limpia, con un tratamiento terciario dentro de la norma, también es tarea de los mismos ingenieros el establecer vínculo con la comunidad, además de relacionarse adecuadamente con el sector público. La EIA es un mecanismo que busca esta relación, agrupando las preguntas de las organizaciones civiles con respecto a un proyecto[69]. En este caso, tales disposiciones se encuentran en la RCA 279/98. Más la relación con los grupos sociales es parte importante de la ingeniería, puesto que como profesión, se debe a la sociedad.

Retomando el tema de los olores por ejemplo, se demuestra que a pesar de lo dispuesto en la RCA, la empresa supera las emisiones de olores en abril del 2004. Situación que se repitió en más de una ocasión, llegando a afectar incluso a una escuela cercana a la planta, en la localidad de Rucaco, la que con el tiempo quedó sin alumnos[45]. La planta decide, más que nada por la posibilidad de cierre, la inversión en un incinerador que recién se instala en octubre de mismo año.

Es importante recordar que la ingeniería debería buscar el bien común, por lo que el integrar a todos los grupos sociales en la toma de decisiones, ya sea a través de consultas periódicas, visitas o como se estime conveniente para cada caso. El entendimiento es de vital importancia para configurar lo que se entiende por bien común. En el caso de Celco, no se cuenta con información que delate tal iniciativa. A esto se adiciona la mala comunicación que tuvo la empresa con la COREMA, la que la multo en más de una ocasión por el atraso en la entrega de los informes de monitoreo. A esto se suma el cierre, debido a las decisiones de la institución ambiental que además intentaba conciliar las demandas sociales de las organizaciones ambientalistas y la ciudadanía.

En este ámbito, las únicas partes interesadas que si tuvieron un trato con la empresa fueron las empresas o personas naturales que suministraron cerca del 40% de la madera necesitada por la planta.

Equilibrado: ¿Se aporta de manera balanceada en todos los ámbitos sociales?

En la RCA 278/98 se le exige a Celco la construcción de una escuela y la contribución en diferentes ámbitos del desarrollo local, las que se listan en la sección de impactos positivos de la planta a la región. Otros efectos son el abastecimiento de energía a la provincia de Valdivia, con un aporte de cerca de 10 MW[59] y la generación de trabajo en la región. Este aspecto se detalla en la siguiente tabla:

Tipo	N° de Empleos
Directos	258
Permanentes	427
Habituales	318
Contratos Forestales	3.725
Proveedores	525
Total	4.728

Tabla 1, Distribución del trabajo relacionado con la planta Valdivia, elaboración propia, basada en datos de Altamirano y Ponce[59].

A los beneficios reportados se contrapone los efectos en la actividad agrícola que usa agua del río Cruces aguas abajo de la descarga de riles. Los productos de este sector se vieron castigados, a causa del temor de que estos estuviesen contaminados, idea sustentada en la muerte de los cisnes y otras especies del Santuario[45]. Se agrega a este perjuicio, la disminución de la actividad turística ligada al humedal de cerca de 100.000 turistas el 2003 a 66.400 el 2004 y 38.000 el 2005[70]. La disminución se traduce en efectos sobre la hotelería, el área gastronómica, y todos los involucrados que conforman esta cadena. De acuerdo a esto, podría concluirse que la presencia de la planta permite el desarrollo de la actividad forestal, pero influye negativamente sobre parte del sector agrícola y el turismo, siendo desbalanceado.

Con respecto a las oportunidades de trabajo abiertas, directa e indirectamente, por la industria forestal, hay que agregar que según un estudio realizado en el país por la Fundación Terram[66] durante el año 2001, la industria de la celulosa evidencia una capitalización, es decir, una creciente sustitución del factor trabajo por capital. Además, en las comunas en donde se encuentran las plantas de celulosa y sus plantaciones se constata una alta tasa de pobreza, lo que significa que si bien no se puede relacionar a la industria de la celulosa con el aumento de la pobreza, sí se puede concluir que la industria no contribuye al mejoramiento de las condiciones socio-económicas de las comunas donde se encuentran instaladas. Tal situación se ve reflejada en el siguiente gráfico.

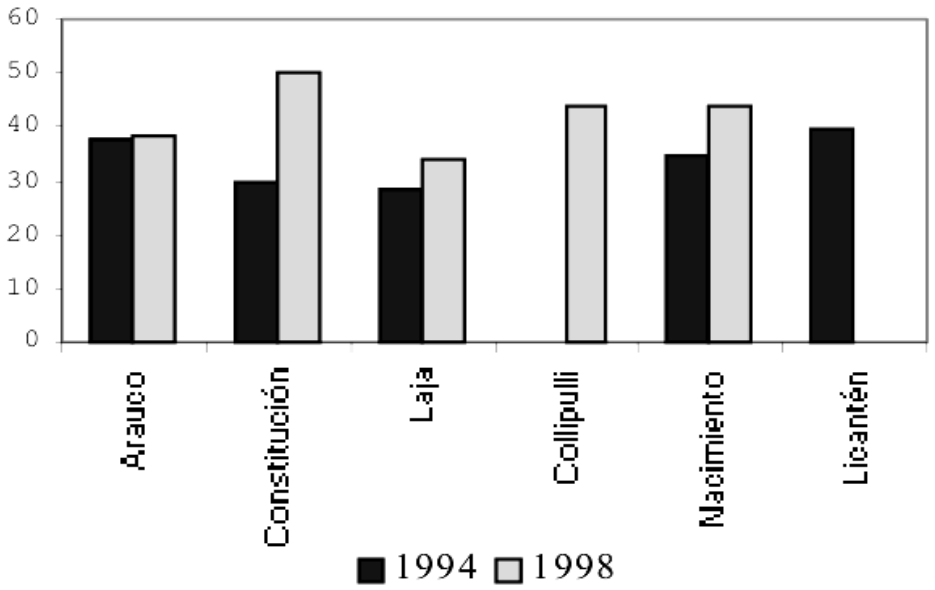

Gráfico 1, Tasa de pobreza por Comuna, 1994-1998. Extraído de "Análisis de Políticas Públicas N° 4"[66].

En el caso de las comunas cercanas a la planta de celulosa Valdivia, se constata que en su mayoría el porcentaje de población declarada como pobre, esto es, a la población cuyos ingresos son inferiores al mínimo establecido para satisfacer las necesidades básicas de sus miembros[71], disminuye en el tiempo. Por lo tanto, en función de los datos recopilados, no se detecta el efecto sobre la cantidad de personas en nivel de pobreza antes descrito.

Comuna	2000	2003	2006
Mariquina		29,4	24,4
Máfil		17,2	14,2
Lanco	34,3	35,1	23,1

Tabla 2, Distribución de la población según pobreza, elaboración propia. Datos, Reporte estadístico comunal[72].

Sostenible: ¿Se compromete de alguna manera del desarrollo futuro?

De acuerdo al primer punto del EIA de 1997, la planta de Valdivia fue diseñada *teniendo en cuenta la preservación del equilibrio ecológico, en concordancia con los principios del desarrollo sustentable*[43]. Sin embargo, la relación de sustentabilidad e industria de la celulosa es bastante discutible, si consideramos los impactos que suele tener la producción de este producto en el medio[42,66].

En lo que compete al consumo de madera, la planta de Valdivia no afectaría a los bosques nativos, debido a que sus insumos son eucaliptos y pino radiata[43]. Tiene que considerarse que un aumento de la capacidad productora de la planta puede afectar tal situación, porque un aumento

en la demanda de madera puede provocar que se talen bosques nativos con el objetivo de plantar especies comerciales[66]. Este hecho puede ser bastante probable, tomando en cuenta el informe de MA&C, que reporta un nivel productivo de 850.000 toneladas anuales. Debido a que la información sobre este punto no es uniforme, no es posible concluir o proyectar algún efecto en el tiempo. A esto se adiciona que un aumento en consumo implicaría un aumento en el consumo de agua de la planta. Esta demanda de agua es satisfecha por el río Cruces, por lo que el incremento en la producción puede afectar doblemente las condiciones del río. Primero porque se aumenta la carga de contaminantes en los Riles y segundo porque debido al aumento del efluente generado por la planta, se pone a prueba la capacidad del tratamiento de riles.

Desde la visión de la planta, se tienen como puntos claves de sustentabilidad, la utilización de menos insumos debido al uso de le tecnología ECF, que permite el reciclo del licor negro, la generación de energía eléctrica capaz de abastecer a la planta y contribuir a la matriz energética de la zona, y la disminución de contaminantes como los AOX y los SST. No hay que dejar de considerar, sin embargo, la utilización del río Cruces por parte de la planta, en tanto fuente de agua para los procesos de enfriamiento de la planta, y como cuerpo receptor de los riles. En más de una oportunidad, Celco no cumplió con lo acordado en la RCA 279/98, descargando ilegalmente sobre el río, mas la información disponible[48-52] no permite concluir la culpabilidad directa de Celco en la muerte de especies del Santuario Carlos Anwandter.

Es innegable, además, que en el corto plazo, la presencia de la planta tuvo consecuencias negativas para el desarrollo de otras áreas económicas de la zona, como lo son la agricultura y el turismo, como quedó descrito en el punto anterior. Los datos disponibles demuestran que en el período de estudio, Celco no intentó revertir esta situación, ya sea por medio de acciones en conjunto con las asociaciones o por medio de reparaciones económicas o de alguna otra índole. Si tal desinterés se mantiene en el tiempo, podría suceder que el impacto económico sobre estas actividades fuese de tal magnitud, que el turismo y la agricultura local no pudiesen volver a levantarse.

7.7.5.2.6. Bien Común

¿Cómo se afecta la generación y distribución de riqueza social?

De acuerdo a las declaraciones de Angelo Romano, Gerente de relaciones públicas de Celco durante el período 2004, el impacto económico de la planta sobre la X región fue de un aumento del 3% del PIB regional, equivalente a cerca de US $ 125 millones[64,65]. Esto es igual a un 40% de las ventas anuales esperadas por la planta y, de acuerdo a los valores presentados por Altmirano y Ponce[59], igual 500 días de utilidades de la planta. Además, se cuenta con la inversión realizada por Celco en la región, de $ 1.200 millones US. A esto se agrega el aporte tecnológico debido a la implementación de un nuevo proceso, *ECF*, no solamente a nivel regional sino que nacional. La influencia de la planta, se observó en las exportaciones de celulosa, las que aumentaron en un 22% durante el 2004[59].

Al efecto positivo de la inversión en la región, el aumento del PIB y el desarrollo tecnológico, se agrega el aumento del empleo, alcanzando un 2,61 % del empleo de la región. La presencia de la empresa además beneficiaría al desarrollo de cerca de 100 pequeñas y medianas empresas (PyMES) vinculadas a la industria forestal, principalmente abastecedoras de insumos y

maderas. Celco obtiene cerca de 40% de la madera necesaria de fundos forestales[59].

También es necesario recordar otros beneficios de la construcción y operación de la planta, como lo son la contribución a la matriz energética de la zona, apoyo a programas de desarrollo local (Dirección de Desarrollo Comunal (DIDECO) y "Un techo para Chile"), inversión en escuelas para las comunidades de Rucaco y Mariquina y programa de prácticas. Más allá de la cuantificación de cada uno de estos aportes, es posible argumentar de que la planta genera beneficios para la comunidad de la X región y no solo para la empresa.

Pero la presencia de la planta también trajo perjuicios. En este ámbito, se encuentra el daño a la salud de los habitantes de San José de Mariquina y Rucaco, producto de los olores emitidos por el proceso durante el febrero, abril y junio del 2004. De acuerdo a las declaraciones del Servicio de Salud Valdivia, se constatan daños a las vías respiratorias, nauseas y vómitos en la población de Mariquina, luego de los primeros meses de funcionamiento de la planta[45]. El efecto fue tan grave, que muchos estudiantes de un colegio en la localidad de Rucaco debieron cambiarse a colegios alejados de la zona[70].

Otro efecto negativo ocasionado por la presencia de Celco en Valdivia, fue el daño a la imagen país, debido principalmente a la desconfianza generada en la comunidad y la muestra de desinterés en el cuidado del humedal por parte de Celco. Esta afirmación se basa en la utilización clandestina de un canal de descarga al río Cruces[57], el retraso en 2 oportunidades en la entrega de informes correspondientes a AOX[45] (Anexo B, Sanciones), las dudas con respecto al volumen de producción de la planta[43,57,59], los enfrentamientos con las comunidades de pescadores y mapuches de Mehuín, y los olores detectados en la zona. Esto provocó, como efecto colateral, que los productos agrícolas de la zona se vieron castigados por comercio externo y que disminuyera la actividad turística. La situación fue tan crítica que Valdivia llegó a ser calificada como la región de los ríos sucios[70]. Se puede incluir la falta a la legalidad, en cuanto al retraso reiterado en la entrega de informes a la COREMA, y las multas registradas durante el período, lo que demuestran falta de compromiso de la empresa hacia la institucionalidad.

La incapacidad de Celco para responder a los cuestionamientos ambientales llego a tal extremo, que Ricardo Lagos, presidente de la República del período, concertó una cita con Anacleto Angelini, principal accionista del holding Copec, dueño de Celco a principios del 2005 [47]. En ese entonces Chile estaba ingresando a la OCDE, y un daño a la imagen país podría ir en desmedro de tal oportunidad. Ser parte de este organismo conlleva beneficios concretos y variados, como el aprendizaje mutuo con naciones de mayor desarrollo, definición de políticas y recomendaciones en conjunto con estos países, así como compromisos y responsabilidades en el área de las políticas públicas.

Estos hechos muestran que acciones de Celco tuvieron efectos negativos sobre las condiciones necesarias para alcanzar el bien común como lo son la salud, y el trabajo. Además tuvo un compromiso poco serio con el medio ambiente y las instituciones gubernamental a cargo. Y por si fuera poco, dañó la imagen de una región y del país.

Puede resultar difícil llegar a un consenso entre los efectos positivos y negativos en cuanto a lo que por bien común se refiere. No se puede poner en la balanza situaciones incuantificables como la imagen país por ejemplo, pero al mismo tiempo no se puede equiparar

los daños causados a la salud de las personas con el beneficio al PIB y al empleo, y argumentar que la salud de las personas es una parte del riesgo a correr y que simplemente las personas deben ser monetariamente compensadas. No puede ser que por el beneficio de un aspecto, en este caso el económico, se perjudique otro. Se estaría pasando a llevar el principio de Desarrollo Equitativo.

Una decisión, un proyecto de ingeniería debe permitir la generación y distribución de las riquezas sociales en todos los ámbitos sociales, estando en concordancia además con un desarrollo integral, equilibrado y sostenible. Por ello, es que de acuerdo a la información recopilada y al análisis realizado, el proyecto planta de Valdivia de la empresa Celco no se encuentra de acuerdo a los principios planteados en este trabajo. En función de esto es que se proponen algunas acciones a seguir.

7.7.5.3 Acciones a seguir

Luego del análisis se puede concluir que uno de los grandes problemas de la planta Celco, fue la falta de un programa de monitoreo para sus riles y emisiones atmosféricas consciente de las características especiales del ecosistema de la zona. De acuerdo a esto, el programa debería reportar en un período al menos trimestral, como lo recomienda en su informe Claudio Zaror, los parámetros que en ese entonces se le solicitaban. Además, debería incluir informes de bioacumulación para el luchecillo y el chorito de agua dulce y un informe sobre la especie huillín, con hábitat en las inmediaciones de la planta. Las correcciones en este aspecto, como la formalidad de la estructura de los informes[58], la rendición de ellos a tiempo[57,58], mejoraría las relaciones con la institucionalidad a cargo, así como mejoraría la confiabilidad de la comunidad, a través de la demostración de compromiso con el medio ambiente y la propia comunidad. Esta información permitiría tomar decisiones en el corto plazo y estudiar el comportamiento del tratamiento de riles. Además, se recomienda que como parámetro de operación del tratamiento se incluyan las características del río Cruces, principal alimentador del humedal protegido por el convenio Ramsar. Es importante que la empresa no escatime medios para asegurar que su operación no tenga efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud de la población.

El análisis también muestra que Celco tuvo grandes problemas de comunicación con la comunidad cercana. Es necesario que el funcionamiento de la planta integre de forma efectiva a los diferentes grupos sociales de la región, esto es las organizaciones ambientalistas, trabajadores agrícolas y del sector turismo, y la misma comunidad de Mariquina, Rucaco, Lanco, Máfil y Valdivia. Para ello se recomienda la realización de reuniones periódicas para conocer la opinión de los diferentes grupos, así como para despejar dudas y trabajar en conjunto, de modo que la presencia de la planta beneficie a toda la región, aportando al bien común. Como mediadores de tales conversaciones podría solicitarse la presencia de un representante de la COREMA o CONAMA y el MINSAL, en vista de los problemas vinculados a la planta.

Se sugiere seguir una de las recomendaciones del informe elaborado por la CNTL que consiste en la evaluación de la inversión entre el ducto de descarga de riles y la bocatoma. Esto demostraría que el efluente tratado se encuentra en condiciones de ser utilizado en el proceso de la celulosa, lo que aumentaría la confianza de la ciudadanía hacía la planta. Además, aumentaría las preocupaciones y cuidados sobre la efectividad del tratamiento de riles[68]. Es más, se podría proponer la recirculación del efluente tratado como agua de proceso. Esta medida iría además en

la línea del desarrollo sustentable propuesto por Celco, disminuyendo el consumo de agua de la planta. Sin embargo, la temperatura de salida del agua (35°C) sería una limitación, tanto técnica como económica, para esta propuesta.

8 Discusión

8.1 Base Ética Propuesta (BEP)

El principal objetivo de la BEP es permitir el correcto ejercicio de la ingeniería. Esto significa que, en todo ámbito de cosas, los ingenieros realicen su trabajo *bien*. Para ello la BEP establece cómo debe ser este *bien* y cómo debe conseguirse. La ingeniería debe hacerse cargo de los requerimientos de los grupos sociales y no exclusivamente de la realización de sistemas técnicos o de la maximización del *VAN* como único objetivo.

Para ello, la BEP busca responder a las reflexiones de autores como Mitcham, Gallegos y Jonas, cuyos cuestionamientos se enfocan principalmente a la responsabilidad y moralidad de la técnica y las consideraciones referidas al impacto social, ambiental y económico de esta. En general, la necesidad de un enfoque integral, de replanteamientos de los objetivos y la inclusión de la opinión de la ciudadanía, son parte de las respuestas que estos autores sugieren.

En ese sentido, la BEP define el aspecto deontológico y teleológico[f] de una ética para la ingeniería. Esta ética tendrá el carácter de ética profesional, debido a su manifiesto interés por relacionar la actividad profesional con el comportamiento moralmente correcto[8]. Los Principios planteados van más allá de los códigos profesionales con los que se suele relacionar la ética en las profesiones[8], que se limitan al ámbito deontológico, de las obligaciones de los ingenieros. A diferencia del Código de ética del Colegio de Ingenieros[18], los Principios no explicitan el cómo debe ser el comportamiento de los ingenieros con sus empleadores, sus clientes y la sociedad. Son una guía más general, que permiten orientar a los ingenieros ante los dilemas éticos a los que puedan enfrentarse.

Sin embargo, dado que los códigos surgen de manera consensuada, podría sugerirse que la BEP corren el riesgo de ser considerados como una imposición y perder, por lo tanto, validez. Esto significaría que, por ejemplo, no se pudiese tomar ninguna acción contra algún ingeniero que no cumpliese con la BEP, como quitarle la posibilidad de que siga ejerciendo como tal. La propuesta no posee una vinculación institucional como un código profesional. Esto no significa que no puedan llegar a ser válidos ni aplicables. La inclusión de la BEP dentro de la formación de los ingenieros podría ser una posible solución a su aplicabilidad.

En el caso de la FCFM, la validez de los Principios reside en un punto clave del perfil de egreso. Según este, se espera que los ingenieros de la Escuela comprendan su *rol en la sociedad* y

f Las corrientes teleológicas son aquellas que en las que se definen cómo debe ser la búsqueda del bien, de la felicidad, alcanzable mediante el desarrollo de determinadas conductas basadas en la aplicación de unas actitudes que reciben el nombre de *virtudes*. Aristóteles es su ilustre representante clásico.
Por otro lado, esta la dimensión de la justicia, del cumplimiento del deber, del establecimiento de procedimientos , de formalidades que posibilitan la promulgación de normas correctas. En esta perspectiva se mueven las éticas deontológicas, que deben gran parte de su fuerza teórica a la reflexión llevada a cabo por Kant [8].

que reconozcan la importancia de un *comportamiento ético*. Desde el punto de vista de la filosofía de la moral, se describen tres sentidos distintos en que alguien puede describirse como ético o moral[1]:

- Primero una persona es ética si, bajo urgencias conflictivas, él o ella hace lo que ya pensó que debía hacerse. Es decir, si hay un ejercicio reflexivo de coraje y/o de templanza por ejemplo.

- Segundo, una persona que se enfrenta a la incertidumbre o a la falta de claridad sobre qué hacer exactamente, puede emprender una búsqueda sobre qué debería hacerse.

- Una persona que tenga relativamente claro lo que debiera hacerse puede pensar o preguntarse qué debería hacerse, investigar los fundamentos de su pauta y hacerse ética en otro sentido, tal vez más superficial.

Entonces, la pregunta es, ¿qué debería esperarse de los ingenieros de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile? La propuesta es que sigan los valores que mantiene su casa de estudios, expresados -por medio de la inclusión de la competencia ética desarrollada por el ADD y el Área de Humanidades- en la BEP.

Además, se propone que la BEP y la discusión sobre los alcances de los criterios técnico-económico sean parte de todos los cursos relacionados con el análisis económico y técnico. En el caso de la FCFM, uno de los principales cursos es Evaluación de Proyectos. Este se podría sumar, en el caso de la ingeniería civil química, cursos como Análisis de Procesos, enfocado en el análisis técnico de proyectos de ingeniería básica, y Taller de Proyectos, en donde se realiza un análisis técnico-económico de proyectos de ingeniería química y biotecnología. A través de este debate, se podría establecer la validez de la BEP y la ética tras el criterio técnico-económico.

En cuanto al aspecto teleológico, la BEP definen el objetivo de la ingeniería por medio de los puntos de *desarrollo integral, equitativo* y *sostenible* y el *bien común*. De este modo, el bienestar social, para el que la ingeniería dispone de medios técnicos, queda descrito como un bien que incluye a todos los grupos sociales, aportando balanceadamente a cada uno de ellos, y permitiendo el desarrollo de las generaciones futuras, de modo que toda la sociedad se vea beneficiada por sus acciones.

También la BEP establece cómo la ingeniería debe conseguir su objetivo y qué obligaciones tiene en cuanto a utilización y creación de medios técnicos. Se le exige que reflexione sobre el uso de la técnica, que sea capaz de resolver creativamente los problemas a los que se enfrente, previendo los posibles conflictos que sus decisiones puedan ocasionar. Que además identifique a las partes interesadas en lo que esté desarrollando y que empatice con la comunidad afectada por sus decisiones, considerándose como parte de ella.

De esta manera, la BEP intentan reposicionar el rol de la ingeniería en la sociedad. Dándole el sentido de profesión referido por Cortina. Esto quiere decir que los Principios definen,

como ya se mencionó, el objetivo de la disciplina; objetivo que puede ser reclamado por la sociedad. Esto se establece entre la relación de los puntos de Conciencia Social y Bien Común, en cuanto definen la relación al ingeniero con la comunidad y hacia dónde debe orientar sus esfuerzos.

Asimismo, esa distinción de aspectos deontológicos y teleológicos, permiten equilibrar las fuerzas entre los medios y objetivos de la ingeniería. Se evita así caer en un idealismo puro del objetivo ingenieril, en donde el bien común se busque sin cuestionarse los medios. Y, por otro lado, se huye de una ingeniería centrada solo en la rigurosidad del uso de los medios técnicos, pero desvirtuada.

Es importante señalar que la BEP no solo constituye una guía a seguir a la hora de evaluar grandes proyectos -como el caso ejemplo Celco- sino que constituye una base ética del día a día de la práctica ingenieril. Esto quiere decir que se debe ser *ético* -lo que en pocas palabras significa se debe hacer y reflexionar entorno a aquello que proponen los principios asumidos- en todo ámbito de decisiones. Como por ejemplo cuando se tiene un grupo de personas y se debe escoger a una para ser despedida. La ética en la ingeniería no tiene un momento o espacio limitado, sino que es transversal a su ejercicio. En el sentido que se está constantemente tomando decisiones, estableciendo como deben ser las cosas, justificando los caminos escogidos y los que no.

Ahora, sobre la validez de estos principios para el resto de los ingenieros del país, puede decirse que, ya que los principios además responden a la exigencia moral hecha por la sociedad occidental, pueden servir de guía para los ingenieros de otras casas de estudio. Más aún si se considera que la BEP atiende a las preocupaciones de Gallegos y Mitcham, y que surgen desde lo que la ingeniería significa, más allá de las características de cada institución educadora.

8.2 Herramienta de Análisis Integral (HAIN)

La herramienta planteada busca que el bien común sea parte integral de los criterios para la toma de decisiones y que no sea una consecuencia de la acción de un agente externo como la *mano invisible*[8]. En este sentido, aquello que la economía ortodoxa llama externalidad[23] es parte del proyecto -incluso parte de la ingeniería-, por lo que debe ser analizada y evaluada de la misma manera que un costo o beneficio percibido por el tomador de decisiones.

La Herramienta de Análisis Integral se inspira en lo planteado en la guía *Engineering for Sustainable Development*, debido a la simpleza con la que se relacionan los principios que la RAE considera para un desarrollo sustentable y la toma de decisiones en ingeniería. La Evaluación Social no fue considerada puesto que, a pesar de que se plantea que el beneficiario es la sociedad, las herramientas en las que se basa -como la llamada función social- suponen ya un problema, en cuanto al nivel de información con los que no siempre se cuenta. Además, los proyectos sociales están exentos de impuestos, situación que no ocurre para la mayoría de los proyectos en los que la ingeniería toma parte.

Para un correcto ejercicio de la ingeniería consecuente con la BEP, es necesario

complementar la toma de decisiones ingenieriles a través de la integración de variables cualitativas al análisis de alternativas. Comparativamente, un estudio de este tipo dificulta la tarea de los ingenieros, puesto que se propone es un balance entre lo cuantitativo -campo en el que acostumbra a desenvolverse la ingeniería- y lo cualitativo. Pero la realidad es compleja. Si se toma como ejemplo el caso Celco, ¿podría realizarse alguna relación cuantitativa entre los beneficios obtenidos, como por ejemplo el empleo, y la salud de las personas afectadas por los olores de la planta? Y, más allá de la esta posibilidad, ¿En qué sentido tal relación cuantitativa tendría sentido?

Tomando el punto del Bien Común y el Desarrollo Equilibrado, tal transacción carece de lógica, puesto que lo que se persigue es el bienestar, acrecentar las posibilidades de vida de toda la sociedad en todo sentido. Volviendo al ejemplo, el beneficio económico del privado no puede sobreponerse a la salud de las personas afectadas. Ahora, es claro que la utilización de herramientas cuantitativas es parte importante del desarrollo ingenieril[22], pero lo que se esta argumentando en este punto, es que no es suficiente para concretar el objetivo de la ingeniería propuesto en este trabajo. De aquí surge la necesidad de la inclusión de aspectos cualitativos en la toma de decisiones. Como consecuencia adicional, las negociaciones y las compensaciones económicas deberían replantearse, buscándose el entendimiento entre las partes interesadas.

Si bien se plantea que la HAIN tenga lugar entre cada etapa de la Evaluación de Proyectos, se espera que estas preguntas sean parte del criterio usual de los ingenieros. Que no solo se utilicen a la hora de enfrentarse a grandes proyectos, sino que también en todo tipo de decisiones relacionadas con el ejercicio de la profesión. La ingeniería que se busca en este trabajo se sustentará en la BEP. La utilización de esta HAIN permitiría tal objetivo.

En cuanto a las limitaciones, la HAIN está restringida al juicio del tomador de decisiones. En función de su experiencia, determinará qué tanto se abarcará en la reflexión de cada aspecto del análisis. De este dependerá la correcta identificación de las partes interesadas, y el reconocimiento de sus intereses. Decidirá hasta dónde se consideran los efectos en el largo plazo y qué situaciones deben prevenirse y cuales no. Esto provocará que dos ingenieros enfrentados al mismo problema, reflexionen de manera completamente diferente. Su percepción de las cosas no tiene por qué ser la misma. Sin embargo la justificación por la cual optan por una alternativa y no por otra, tiene que estar basada en los mismos Principios. Además, la metodología seguida para la toma de decisiones debe ser la misma. De lo contrario, estarían contradiciendo la BEP y, por lo tanto, ejecutando de manera incorrecta su labor.

La ética no es una ciencia exacta. La HAIN más que buscar soluciones, pretender reflexionar sobre las soluciones planteadas. Por esto además es que la complementación de los criterios técnico-económico sea por medio de una reflexión: el objetivo y las obligaciones de los ingenieros se vuelven explícitas, permitiendo que estén siempre presentes en el ejercicio de la ingeniería. Entonces el cuestionamiento que busca la HAIN vuelve explícita la dimensión valórica de la ingeniería.

La inclusión de la HAIN en los proyectos de investigación, puede ser confusa. Principalmente, porque esta fue elaborada como un complemento a la Evaluación de Proyectos. A pesar de esto, la investigación, como parte de las labores ingenieriles, debe fundamentarse en la BEP. Las cuestiones sobre el valor de la investigación y los beneficios y perjuicios que pueden

generar, escapan a los objetivos de este trabajo, aún cuando se tratan de cuestiones éticas. Sin embargo, como ya se mencionó, la BEP, en cuanto ética para la ingeniería, puede ser una base para debatir al respecto.

Se propone que para una mejor integración de la HAIN y, por tanto, influencia de la BEP se estudie a fondo la base de la formación de los ingenieros. En el caso de la FCFM esta base la constituye el programa CDIO Syllabus[73]. Esto permitiría quizás, que la BEP desenvuelva de una manera transversal en el ejercicio ingenieril.

A continuación se discutirá cada parte de la HAIN. Se establecerán las consecuencias, importancia y relaciones entre los puntos y las preguntas que los sustentan. Además se describirán situaciones particulares tras la utilización de la Herramienta en el caso Celco.

8.2.1 Conciencia Social

El objetivo de este punto es que los ingenieros conozcan a la comunidad sobre la cual sus acciones tendrán consecuencias. La idea es que este reconocimiento le permita considerar la diversidad social y cultural de la comunidad con la que se relacionarán. La idea es que no solamente se tomen en cuenta las actividades económicas de la comunidad, sino también que se entiendan la cultura de la comunidad afectada, positiva o negativamente, por las decisiones ingenieriles. Otro objetivo de este punto, es el identificar a las partes interesadas en los proyectos. Esto tendrá relevancia para el resto del análisis.

Asimismo, la pregunta formulada para este aspecto, ¿Realizaría este proyecto si fuese parte de la comunidad afectada?, invita a empatizar con la comunidad. Este aspecto también se puede enlazar al perfil de egreso de la FCFM. Una de las competencias esperadas por la FCFM es que sus egresados sean capaces de comprender el su rol en la sociedad, y para que esto sea efectivo, es necesario que los ingenieros se vinculen a la sociedad directamente.

Parte de relacionarse con la comunidad, implica mantener a esta informada sobre las decisiones tomadas, como también de los alcances de los medios técnicos sugeridos por los ingenieros. Adicionalmente establecer algún tipo de canal de comunicación vigente y de uso frecuente. De este modo la reflexión técnica puede verse enriquecida por la participación ciudadana. Esto debido al conocimiento de la comunidad sobre las condiciones locales, experiencias anteriores con proyectos similares, y la inclusión de preocupaciones ciudadanas como condiciones de borde.

El análisis del caso Celco muestra la importancia para la reflexión de la pregunta ¿Realizaría esta acción si fuese parte de la comunidad afectada? entorno al resto de las preguntas. Esto porque, para determinar las consecuencias de las decisiones, entender los conflictos que se podrían presentar, definir bien común y desarrollo, es vital el reconocimiento de la comunidad y del rol ingenieril en esta. Con esto, la sociedad no solamente influiría, sino que, de algún modo, participaría de todo el proceso ingenieril.

En el caso de Celco, el punto de *Conciencia Social* vincula a la actividad de la empresa con las localides de Rucaco, Mafil, Lanco y San José de Mariquina, el rubro turístico, el forestal y el agrícola. El análisis muestra que si se hubiesen considerado los intereses de el rubro turístico

y la importancia que tiene el humedal para las comunidades la fragilidad del ecosistema habría sido el parámetro de diseño del tratamiento de riles en vez de D.S. N° 90. Otra posibilidad es que el programa de monitoreo hubiese sido más frecuente y estricto.

La identificación de las partes interesadas no es un proceso del todo claro. Para el análisis del caso, se uso como base lo dispuesto en el EIA, ya que estos incluyen consultas ciudadanas. Sin embargo no todos los proyectos requieren un EIA. A aquellos sujetos a Declaraciones de Impacto Ambiental (DIA) no se les pide que realicen una consulta. Sin embargo, el análisis con la HAIN obliga a ampliar los esfuerzos para considerar a las partes interesadas y a la identificación de la comunidad posiblemente afectada.

Otra situación conflictiva puede ser el desarrollo de proyectos de investigación y nuevas tecnologías. En estos casos la comunidad afectada puede encontrarse en más de una localidad. En tales situaciones puede ser útil considerar a toda la sociedad de una región como la afectada. Sería interesante además precisar a la comunidad que se vería afectada por los efectos del proyecto en el tiempo. Esto facilitaría el análisis del punto *Desarrollo Sostenible*.

8.2.2 Reflexión Crítica

La Reflexión Crítica tiene que ver con la competencia del tomador de decisiones de interpretar datos y experiencias, y llegar a nuevas soluciones y acciones. Lo que implicaría que este punto tiene un papel más protagónico cuando el ingeniero debe hacerse cargo de las consecuencias de un problema ya acontecido; aunque también cobra sentido cuando el ingeniero se plantea un problema que desea solucionar. Este punto busca cubrir dos aspectos de importancia ante problemas existentes durante el desarrollo de proyectos o también en el día a día de la actividad ingenieril.

El primer aspecto, es el de buscar soluciones a los problemas que pueden presentarse, para lo cual es de importancia los conocimientos del ingeniero y la información a la que tiene acceso. Este proceso es antecedido por la identificación de las causas del problema y las responsabilidades a cargo. Esto último le permitirá decidir al ingeniero si la situación le compete y si puede y debe hacerse cargo de enfrentarla. Además, debe identificar para quién o quienes el hecho estudiado es un problema lo que incluso, debería resolverse en el punto de Conciencia Social e Integración.

El segundo aspecto se enfoca a establecer que consecuencias produce cada opción. Es importante enfocar esta causalidad hacia los efectos sobre la comunidad y las partes interesadas. En este sentido, esta pregunta se retomará durante el análisis en el punto Integración. Este análisis ayudará a los ingenieros a informar a las partes interesadas, siendo consecuentes con el principio de Conciencia Social. Este aspecto intenta que los profesionales se hagan cargo de los grandes cambios tecnológicos y sociales que la ingeniería viene produciendo a gran escala desde la Revolución Industrial[1].

Para que el análisis sea efectivo, es pertinente contar con antecedentes sobre proyectos similares al que se está estudiando. En el caso Celco, el análisis de los hechos y sus consecuencias no fue dificultoso ya que se trató de un análisis *ex-post.* Se conocía de antemano los efectos de las decisiones tomadas. En el caso de estudios *ex-ante*, los antecedentes permitirán

anticiparse a los posibles problemas que pueda presentar el proyecto. Adicionalmente, se recomienda incluir la opinión de la comunidad afectada recopilada en el punto anterior *Conciencia Social.*

8.2.3 Integración

Durante esta parte del análisis, se deben incluir las preferencias de las partes interesadas e intentar representar los conflictos que las alternativas planteadas puedan generar. Para ello la pregunta formulada es bastante directa: ¿Qué conflictos podría despertar el proyecto en y entre las partes interesadas?

El punto Integración busca conjugar los puntos anteriores, centrándose en la interacción del proyecto en las partes interesadas y entre estas. De ahí que se podrían suponer posturas, como que cierto agente social se muestre reticente a la puesta en marcha del proyecto, quizás indiferente o bien tenga inclinaciones a que este comience a operar. Para esto es clave el entendimiento entre las partes interesadas y evitar las negociaciones. Esto porque las compensaciones económicas llevan la problemática al plano de lo cuantitativo. Lo que podría causar que ciertos aspectos difíciles de cuantificar, como por ejemplo el daño al hábitat de una especie en peligro de extinción, no sean sopesados por el tomador de decisiones debido a la complejidad de evaluar monetariamente este efecto.

La mayor complicación que ocurre en este punto de análisis, es la generación de conflicto entre las partes interesadas. Ciertas alternativas pueden ser de preferencia de un grupo social, mientras que para otro podrían ir en contra de sus intereses. Ante esta situación, debe buscarse aquella solución que no perjudique a ninguna de las partes o bien aquella que sea lo suficientemente flexible, en términos de parámetros de diseño y restricciones, como para llegar al entendimiento con aquella parte interesada con la cual se presenten conflictos, garantizando que sus preferencias no se verán perjudicadas. Por ello es que este punto de la HAIN es también un reto para los profesionales: no solamente deben buscar soluciones técnicas y económicamente satisfactorias, sino también dialogar con la sociedad.

El caso Celco muestra que una forma de estimar cuales son las partes interesadas es a través de la utilización de los EIA. Básicamente porque los EIA invitan a la comunidad a manifestar sus dudas y apreciaciones sobre los proyectos de alto impacto. A partir de este dato, el tomador de decisiones puede elaborar diferentes estrategias para la inclusión de las partes interesadas en el desarrollo del proyecto. Esto permitió aclarar consideraciones para los puntos de *Desarrollo Equilibrado* y *Bien Común.*

Además el integrar a las partes interesadas y a la comunidad desde el principio del proceso para la toma de decisiones puede marcar la diferencia entre un proyecto exitoso y un desastre social. Situación contraria fue la que ocurrió en Valdivia con la planta de celulosa. La ciudadanía debió expresarse con manifestaciones y otra clase de recursos para poder interacturar con la planta de celulosa.

Ahora, también puede darse el caso en que ocurran acontecimientos de interés para las partes interesadas, pero que no sean de conocimiento público. Como las lagunas de emergencia y

el ducto clandestino no contempladas en la RCA, en el caso de Celco. Ante situaciones como esta el ingeniero debe recordar que su compromiso profesional es con la sociedad, por lo que debe tomar las medidas necesarias para que tal situación no continué y pueda ser solucionada. Los intereses del ingeniero deben representar los intereses de la sociedad.

8.2.4 Creatividad

Dada la complejidad del mundo real y los constantes cambios en el mundo tecnológico, la creatividad no solo es una capacidad que se espera que posean los ingenieros, como lo plantea el perfil de egreso de la FCFM, sino más bien una exigencia.

Las preguntas ¿Qué nuevas soluciones pueden efectuarse? ¿Hay efectos no previstos?, están siempre presentes a la hora de enfrentar un proyecto. En este caso, dado que se busca complementar la toma de decisiones, la importancia de este punto es que las alternativas formuladas cumplan con los requisitos impuestos al ingeniero a cargo de tomar las decisiones y también respondan a los intereses de las partes interesadas.

Este punto obliga a meditar sobre las consecuencias no previstas de los medios dispuestos para el proyecto. Esto tiene especial importancia cuando la tecnología del proceso es nueva y se desconoce qué podría causar en el medio o bien cómo reaccionará la sociedad. También es de importancia cuando se usan procesos de los que se poseen pocos antecedentes que se puedan comparar a la situación en análisis.

Debido a la amplitud de la pregunta, muchas consecuencias pueden quedar fuera del análisis o desecharse por parecer de poca probabilidad o influencia. Esto no significa que efectos secundarios (como por ejemplo, los perjuicios que puede traer la emigración de una población, debido a una expropiación, a otro lugar sobre los habitantes del nuevo asentamiento) queden fuera del análisis. La evaluación de cada efecto y la probabilidad de que este ocurra quedará, exclusivamente, a juicio del tomador de decisiones.

En cuanto a las nuevas soluciones, es importante notar que el objetivo de la innovación para la HAIN, es el aumentar las posibilidades de mejorar la vida de las personas. En otras palabras, la innovación debe estar al servicio de la comunidad. Del mismo modo, las nuevas soluciones tienen que buscar establecer un equilibrio entre los requerimientos técnico-económicos y el aspecto cualitativo, de acuerdo a la reflexión orientada por la Herramienta de Análisis. La idea es que las soluciones ideadas se vinculen con los puntos de *Desarrollo Integral, Equilibrado* y *Sostenible*. Las nuevas soluciones o alternativas elaboradas no solo deben ser factibes y rentables, sino que ser consecuentes con el análisis de los puntos anteriores a la *Creatividad*. Cuando no se puedan modificar las alternativas presentadas o simplemente no se puedan formular otras nuevas, se debe justificar el procedimiento a seguir (reparaciones, compensaciones, postergaciones) tanto técnicamente como consecuentemente con la BEP.

Finalmente la Creatividad implica rigurosidad, en cuanto se busca que se extremen los factores a tomar en cuenta para la toma de decisiones. La idea es que cada factor sea estudiado, o al menos mencionado. Siguiendo las ideas del principio del *plus respicere,* la toma de decisiones incluya el máximo de factores posibles.

8.2.5. Desarrollo

En este punto se busca caracterizar los beneficios de las alternativas. Para ello se toman en cuenta 3 aspectos de análisis sobre el proyecto: a quiénes beneficia, cómo los beneficia y cómo influye en los beneficios de las generaciones futuras. Por beneficio se entenderá cualquier mejora en la posibilidad de vida de las personas, es decir, los esfuerzos que vayan hacia la realización del bien común. Los beneficios, por lo tanto, irán más allá de lo puramente económico. Ejemplo de ello son la transferencia tecnológica, generación de capacidades, preservación del medio ambiente o creación de empleos[23].

Debido a esta característica de los beneficios es que el tomador de decisiones puede tener dudas al comparar alternativas. Más si se considera que para la Evaluación de Proyectos esta situación debe evitarse, intentando cuantificar todo aquello que se pueda[23]. Pero, se debe tener en cuenta que justamente esta herramienta busca comprender, estudiar y revisar los impactos de la ingeniería en todo orden. De este modo se podrán estudiar, por ejemplo, tanto los efectos económicos como los efectos en la salud, la libertad de trabajo o los bienes comunes a todos los integrantes de la sociedad.

También se pueden presentar dificultades para observar los resultados en la sociedad, de la decisión tomada. Esto puede ocurrir porque el proyecto puede producir secuelas en una temporalidad diferente al ciclo de vida de este. Ejemplo de ello es la industria del salmón en el sur del país, cuyas efectos negativos aún permanecen en la zona de Puerto Montt[74]. Otra razón por la que esta dificultad puede producirse es por la ausencia de indicadores, estadísticas o información documentada con respecto al efecto esperado. El ingeniero deberá tomar medidas respondiendo a a la naturaleza de la decisión; como lo pueden ser encuestas, grupos focales, proyecciones o simulaciones.

En cuanto al análisis del *Desarrollo* en sus aspectos *Integral* y *Equilibrado*, se ha de revisar las preferencias de las partes interesadas y las interacciones entre estas. Puede suceder que un beneficio generado por el proyecto, no sea de relevancia para una de las partes o bien, muy perjudicial para otra. Nuevamente, la *Conciencia Social* juega un rol de peso en este aspecto, así como el punto de *Integración*. Esto porque el análisis realizado en el punto *Conciencia Social* caracteriza a la comunidad, mientras que en el punto *Integración* se establecen las posibles intereacciones entre las partes interesadas. El entendimiento con las partes interesadas será crucial entonces para determinar la postura de cada una de ellas sobre los beneficios y perjuicios que esperan de los proyectos. De este modo el proceso ingenieril se alimentará de la opinión de los ámbitos sociales, lo que le permitirá establecer restricciones al proceso, planificación de medidas de contención a posibles efectos negativos, necesidad de nuevos indicadores o cualquier otra acción que los ingenieros y las partes interesadas convengan como necesarias. Los grupos sociales se vuelven parte y fin de los procesos técnicos, como lo plantea Gallegos al referirse a la ingeniería como la técnica social por excelencia[2].

En el punto de *Desarrollo equilibrado* puede resultar complicado el como comparar los beneficios y perjuicios que recibe cada parte interesada y además el como asegurar que estos fueron causados por el proyecto. Más cuando estos beneficios o perjuicios son factores cualitativos. Considerando un reparo que se hizo sobre la negociación y compensación, se puede decir que sumar o equiparar los efectos no siempre será un criterio válido. Más si se considera

que el ingeniero debe mejorar las condiciones que posibilitan el bienestar de cada grupo social. En tal caso, un proyecto que beneficie a un grupo y que no altere el bienestar de otro, se considerará como un aporte al bien común, mientras sea consecuente con la BEP. Se sugiere que la comunicación con las partes interesadas y la comunidad puede facilitar la configuración de este balance.

Para asegurar que el desarrollo actual no arriesgue el desarrollo de las futuras generaciones, los proyectos y sus consecuencias deben ser estudiados más allá de su vida útil. Esta consideración es sugerida en el informea de la RAE, *Enginering for Sustainable Development*[25]. El cuestionamiento referido al *Desarrollo Sostenible*, alude a tomar las consecuencias elaboradas en el punto de *Creatividad* también en el punto *Reflexión Crítica,* y establecer si, eventualmente, pueden causar algún tipo de daño a las condiciones necesarias para el bienestar de las generaciones futuras. Dado el impacto que tiene la ingeniería sobre la sociedad y el medio ambiente, es que esta reflexión cobra relevancia. Más si se considera que para la elaboración de procesos sustentables ya es un requerimiento de la sociedad civil[25].

Se espera, entonces, que las soluciones ingenieriles no solo sean capaces de satisfacer las necesidades económicas o técnicas de la sociedad, sino que además permitan el desarrollo de todos los ámbitos. En otras palabras, los procesos no solo han de ser caracterizados por un balance de masa y energía, sino que también se deberán establecer las interacciones con el sistema que rodea al proceso. Es decir, la sociedad y el medio ambiente.

Por todo lo anterior es que el punto de *Desarrollo* obliga, por medio de la reflexión de sus tres preguntas, a ir más allá de lo puramente técnico y económico. Esto se demuestra en el análisis realizado al caso Celco, en el que se debió incluir aspectos afectados o beneficiados por el proyecto, como los perjuicios a otras actividades económicas de la región, la generación de trabajo producido directa e indirectamente por la planta, el impacto ambiental y el compromiso con el ecosistema. La facilidad para relacionar causas y efectos se debe a que se trata de un análisis *ex-post*. Esto permitió definir claramente cada uno de los impactos de la planta en la comunidad. Sin embargo, durante el análisis *ex-ante*, la relación entre causa y efecto y, por lo tanto, desarrollo provocado por el proyecto, no siempre será tan directa como en el caso Celco. Como ya se ha recomendado, el contar con antecedentes de proyectos similares permitirá orientar la búsqueda de indicadores, parámetros o datos que sirvan al ingeniero para tomar una decisión documentada, enfocando sus esfuerzos al análisis de estos aspecto del proyecto. En este sentido, la experiencia y el juicio del ingeniero jugaran un rol crucial, sugiriéndole que variables estudiar con más detalle.

8.2.6. Bien Común

Luego del análisis de las alternativas bajo lo requerido por cada uno de los puntos anteriores, los reparos de cada uno deben ser reunidos en un punto. La pregunta que sigue esta idea es ¿Cómo se afecta la generación y distribución de riquezas sociales?

En este punto entonces, se busca dilucidar si efectivamente el proyecto posee impacto sobre el bienestar social y las condiciones que permitan el desarrollo de las diferentes partes interesadas. Es de interés conocer cómo es ese impacto, qué garantías hay de que se produzca y qué responsabilidad tiene el ingeniero a cargo. Esto permitirá, además, generar acciones

correctivas de ser necesario.

La reflexión en torno a la pregunta ¿Cómo se afecta la generación y distribución de riquezas sociales?, sufre de las mismas limitaciones de los puntos anteriores. A saber, sobre cómo se pueden detectar los efectos del proyecto sobre el bien común y, además, cuales son las preferencias y necesidades de las partes interesadas. Como ya se ha mencionado, el entendimiento con las partes interesadas permitirá tener una idea sobre este aspecto. A su vez, puede ser de utilidad para el ingeniero a cargo el relacionarse con profesionales de otras disciplinas, como los trabajadores sociales, lo que permitiría un enfoque multidisciplinario de los resultados del proyecto en función del bien común.

Otra limitación importante es cómo medir o detectar que el aporte total del proyecto contribuye positivamente al bien común y al desarrollo de la sociedad. Si se piensa en la complejidad de la Evaluación Social, para la cual este punto es primordial, la situación puede quedar sin respuesta. Sin embargo, la BEP y la HAIN buscan que todos los aspectos que puedan influir en el mejoramiento de las posibilidades de vida sean concretados. La Herramienta no propone poner los efectos negativos y positivos de cada alternativa en una balanza y elegir aquella que suponga mayores beneficios. Tal situación solo se justificaría en una ética utilitarista y no en una ética como la aquí formulada. Además, supondría las mismas limitaciones de la Evaluación Social. Los ingenieros, por lo tanto, deben ser capaces de buscar soluciones tan complejas como la realidad en la que están inmersos o al menos considerar dicha complejidad de la realidad a la hora de tomar decisiones.

Asimismo, es muy difícil poder definir quienes se ven beneficiados por el proyecto, de qué forma y cómo se afecta el proyecto a la distribución de riquezas sociales. Si bien, el conjunto de puntos anteriores (*Desarrollo Integral, Sostenible y Equilibrado*)contribuye a responder a las 2 primeras preguntas, dado intentan definir a las partes interesadas en el proyecto y sus preferencias, la pregunta referida a la distribución de las riquezas supone una dificultad mayor. El punto de *Desarrollo Equilibrado* se conecta con esta pregunta, sin embargo, esta pregunta muestra el gran problema que supone la utilización de la HAIN: la comparación y balance entre lo cualitativo y cuantitativo, situación ya discutida en el punto anterior.

8.3. Caso

La reflexión sobre la planta Valdivia y sus implicancias se centro en establecer la situación de la planta durante el 2004 principalmente. A su vez, debido a la posible relación entre la muerte de los cisnes y la actividad de Celco, es que el análisis se enfocó en la descarga de riles y el tratamiento de estas.

El análisis muestra que una de las grandes equivocaciones de Celco fue excluir las preferencias de las partes interesadas en la toma de decisiones. Prueba de ello son la mala relación que se tuvo con la COREMA y los habitantes de la zona, quienes protestaron en contra de las actividades de la planta en más de una ocasión[45,46]. Si la postura de la empresa hubiese sido integradora, habrían podido llegar a algún tipo de solución con al comunidad de Mehuín y haber evitado la descarga en el río Cruces. Si hubiesen sido reflexivos y críticos de su accionar habrían extremado las precauciones sobre la descarga de riles en el río.

Se postula que un ejercicio en función de la BEP habría ocasionado un cambio radical en el hechos a los que se vio enfrentada la empresa Celco y también las partes interesadas. Esto a causa de que el perspectiva esta orientada hacia la búsqueda permanente del bien común, fin de la ingeniería.

Por otra parte, las acciones a seguir propuestas luego del análisis de la HAIN deben ser sometidas a un análisis técnico-económico, siguiendo el algoritmo de la figura 5, respecto a la complementación de la Evaluación de Proyectos. Tal análisis no se realizó por los alcances de la memoria y, principalmente, porque el interés en el estudio del caso se centraba en los resultados entregados por la HAIN.

Una de las grandes limitaciones de la aplicación de la HAIN es el conocimiento que aquí se tiene de algunas consecuencias del funcionamiento de la planta de antemano, debido a que se trata de un estudio *ex-post*. A pesar de que la mayoría de la información usada es anterior al 2005, datos considerados como importantes solo se encontraron en informes o estudios de años posteriores. Incluso algunas de las propuestas o recomendaciones fueron emitidas por informes posteriores (CNTL).

En este sentido, una de las deficiencias del contexto es que se desconoce sobre la situación en que ejercían los ingenieros a cargo de la toma de decisiones. El hecho de que la información utilizada sea del mismo período analizado, no implica que ellos la hubiesen manejado.

Por último, un análisis más extenso y profundo requeriría más tiempo del disponible para la realización de la presente memoria. Tiempo que se debió distribuir entre el estudio de los principios de la ingeniería, la realización de la HAIN y el estudio del caso Celco.

9. Conclusión

El análisis realizado en el presente trabajo muestra que la ética tiene una relación con la ingeniería que supera la aparente neutralidad valórica de las tecnociencias. Así, se da cuenta de que las ideologías tecnocrática y utilitarista son las que deciden por los ingenieros, imponiendo su ética como justificación de las decisiones ingenieriles. Esto ha provocado que la ingeniería se enfoque exclusivamente en la maximización de la rentabilidad y el desarrollo de la técnica para la técnica, perdiendo el interés por el bienestar social.

Una ética para la ingeniería, por tanto, debe contener 2 aspectos principales: objetivos y obligaciones. El equilibrio de estos aspectos permite formular una ética profesional como una dimensión más amplia que un código profesional. Por lo tanto, una ética para la ingeniería debe definir las características del objetivo buscado y el cómo debe realizarse la actividad profesional para conseguir tal objetivo. Esto permitiría dar un sentido a la profesión, que la legitime socialmente.

Por esto es que la discusión sobre la justificación de las acciones ingenieriles y los

objetivos de esta es primordial. Las ideas de autores como Mitcham y Gallegos muestran que la ingeniería ha perdido -o más bien vendido- su sentido, subordinándose a los intereses del mundo empresarial y político. A ello se suman las exigencias provenientes de organizaciones civiles, que dan cuenta de una ingeniería desligada de la sociedad.

La Base Ética Propuesta busca responder a estas exigencias y reflexiones. Para ello se proponen los siguientes principos valóricos: *Conciencia Social, Reflexión Crítica, Integración, Creatividad, Desarrollo* y *Bien Común*. Además, la BEP integra la competencia ética formulada por el Área de Desarrollo Docente de la FCFM, como una forma de vincular la labor ingenieril con la Misión de la Universidad de Chile y, al mismo tiempo, explicitar el comportamiento ético de los ingenieros, de acuerdo al perfil de egreso de la Escuela de Ingeniería y Ciencias de la FCFM.

Luego, para que la BEP forme parte efectiva de la toma de decisiones ingenieriles es que se desarrolla la Herramienta de Análisis Integral, método que toma la forma de una reflexión cualitativa y complementa a la Evaluación de Proyectos como criterio para la toma de decisiones ingenieriles, permitiendo un ejercicio consecuente con la BEP. Para ello la HAIN integra aspectos que usualmente son considerados como externalidades o, simplemente no son considerados por la Evaluación de Proyectos.

La inclusión de la HAIN como parte de la Evaluación de Proyectos, obliga la discusión sobre los principios que justifican el uso de los criterios técnico-económico como base para la toma de decisiones ingenieriles. En este sentido, la HAIN evidencia la existencia de principios valóricos en la ingeniería. De esta manera se logra que los proyectos de ingeniería consideren la influencia que tienen en el bien común. Así se conseguiría lo propuesto por la ABET en 1947: interesar a los ingenieros en el bienestar público[1].

El análisis del caso Celco muestra que la inclusión de la comunidad en la toma de decisiones podría haber cambiado el curso de los acontecimientos. El trabajo directo con las comunidades no solo constituye un acto de buena fe, es parte importante de la ingeniería, entendiéndola como una técnica social. No se busca tampoco que la sociedad limite las acciones ingenieriles, puesto que se corre el riesgo de caer en que el aspecto técnico de los problemas no se considere debidamente. Lo que se persigue con la BEP -especialmente con el punto de *Conciencia Social*- es que se generen espacios de diálogo entre la sociedad civil y la profesión, de modo de mejorar el ejercicio ingenieril, integrando a la técnica, la reflexión ciudadana.

La realidad es compleja. La ingeniería debe, por lo tanto, responder a esta complejidad, integrando variables cuantitativas y cualitativas para el correcto desarrollo de sistemas técnicos que sean factibles y rentables. Pero, que además sean ingenierilmente aceptables. Este trabajo muestra la relevancia de que los ingenieros cuestionen aquello que pueda ser considerado como ingenierilmente aceptable, por sobre lo exclusivamente técnico y económico. La tecnocracia y el utilitarismo han ocultado la dimensión ética y moral de la profesión, imponiendo su ética, volviéndo a la ingeniería inconsciente e irresponsable. En este sentido, la BEP no es una ética definitiva para la ingeniería. Más bien un punto de partida para la reflexión del sentido de la profesión por parte de los mismos ingenieros y también por parte de la sociedad. De esta manera se determinará el tipo de ingeniero que la sociedad necesita.

Tanto la Base Ética Propuesta y la Herramienta de Análisis requieren que la formación ingenieril considere aspectos adicionales al desarrollo de conocimientos técnicos y habilidades administrativas y económicas, como las planteadas por el perfil de egreso de la FCFM. Se vuelve necesario el que los ingenieros puedan equilibrar variables cuantitativas y cualitativas de modo de tomar decisiones, y poder acrecentar las posibilidades de vida de las generaciones presentes y futuras.

10. Bibliografía

[1] MITCHAM, Carl. Thinking Ethics in Technology. Division of Liberal Arts and International Studies, Colorado School of Mines, 1997.

[2] GALLEGOS, Héctor. La ética en la ingeniería. Lima, 2004. Sin más referencias bibliográficas.

[3] WULF, Wm. Engineering ethics and society , Technology in Society, 26: 385–390 , 2004.

[4] Observatorio Latinoamericano de Conflictos Ambientales, [en línea] <http://www.olca.cl/oca/index.htm>. [consulta: 10 de abril de 2012]

[5] RISTENPART, Matías. Después del virus ISA, la industria salmonera de Chile ve un futuro alentador [en línea]. Infosurhoy.com, 15 de noviembre de 2010, <http://infosurhoy.com/cocoon/saii/xhtml/es/features/saii/features/economy/2010/11/15/feature-03> [consulta: 10 de abril de 2012]

[6] OLIVEROS, Iván. HidroAysén: Comité de Inversiones Extranjeras anticipó hace un mes la aprobación [en línea]. <http://www.biobiochile.cl/2011/05/11/hidroaysen-comite-de-inversiones-extranjeras-anticipo-hace-un-mes-aprobacion.shtml> [consulta:10 de abril de 2012].

[7] JOHNSON, Deborah. The role of ethics in science and engineering , Trends in Biotechnology, Vol.28(12): 589-590, 2010.

[8] BILBAO, G., FUERTES y J., GUIBERT, J.M., Ética para Ingenieros, Desclée de Brouwer, 2006 .

[9] The European Graduate School, Carl Mitcham – Biography, [en línea]. <http://www.egs.edu/faculty/carl-mitcham/biography/> [consulta: 5 de agosto 2012]

[10] MITCHAM, Carl. De la tecnología a la ética: experiencias del siglo veinte, Revista CTS, no 5, vol. 2, Junio de 2005.

[11] LOZANO, Félix. Ética y toma de decisiones en Ingeniería . Departamento de Proyectos de Ingeniería ETSII – UPV.

[12] FORMAN, Charles. A look to the future. 75 Years of a progress- a history of the American Institute of Chemical Engineers. 1983.

[13] COMISIÓN EDUCACIÓN, Ética y Educación , Instituto de Ingenieros de Chile, 2005.

[14] JONAS, Hans. El principio de la responsabilidad, Ensayo de una ética para la civilización, Editorial Herder, Barcelona, 1995.

[15] Escuela de Ingeniería y Ciencias, Universidad de Chile. Perfil de Egreso [en línea] <http://escuela.ing.uchile.cl/docencia/perfil-de-egreso-1> [consulta: 24 de enero de 2012]

[16] AUGUSTINE, Norman. Ethics and the Second Law of Thermodynamics . The Bridge. Vol. 32 (3): 4-8. 2002.

[17] GARCÍA DE LA HUERTA, Marcos; MITCHAM, Carl. La ética en la profesión de ingeniero. Ingeniería y ciudadanía. Departamento de Estudios Humanísticos, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, 2001.

[18] COLEGIO DE INGENIEROS DE CHILE. Código de Ética, 1998.

[19] HUIDOBRO, Ma. Gabriela y GONZALEZ Ma. Virginia, Manual de Ética para la Ingeniería . DuocUC - Vicerrectoría Académica , Dirección de Formación General, PROGRAMA DE FORMACIÓN GENERAL . Viña del Mar, 2006.

[20] UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTAMARÍA, Código de ética profesional [en línea],<http://www.exalumnos.utfsm.cl/sobre-nosotros/codigo-de-etica-profesional/> [consulta:10 de abril de 2012]

[21] CENTRO DE ÉTICA, Universidad Alberto Hurtado. Informes Ethos [en línea]. <http://etica.uahurtado.cl/html/informe_ethos.html>, [consulta: 23 de enero de 2012]

[22] DIEZ, Christien. Apuntes de Evaluación de Proyectos, IN42A.Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas , Universidad de Chile, 1999.

[23] ORTEGÓN, Edgar; PACHECO, Juan Franciso; ROURA, Horacio. Metodología general de identificación, preparación y evaluación de proyectos de inversión pública. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES). Santiago de Chile, 2005.

[24] DIRECCIÓN GENERAL DE DESARROLLO CURRICULAR. Evaluación de Sistemas Tecnológicos. México, 2005. Sin más referencias bibliográficas.

[25] THE ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING, Engineering for Sustainable Development: Guiding Principles. Gran Bretaña, 2005.

[26] OSORIO, Carlos. Los efectos de la ingeniería en el aspecto humano, [en línea] <http://www.oei.es/salactsi/osorio7.htm> [consulta: 8 de agosto de 2012]

[27] CORTINA, Adela. El sentido de las profesiones. Navarra, Verbo Divino, 2000.

[28] BOWEN, Richard. Prioritising People: Outline of an Aspirational Engineering Ethic . Philosophy of Engineering and Technology 2. Springer Science+Business Media B.V. 2010.

[29] DIDIER, Christelle . Professional Ethics Without a Profession: A French View on Engineering Ethics . Philosophy of Engineering and Technology. Vol 2 (14): 161-173. 2010.

[30] UNION CARBIDE. Bhopal Information Center [en línea]. <http://www.bhopal.com/> [consulta: 10 de mayo de 2012].

[31] MITCHAM, Carl. Technology and Ethics. Colin A. Hempstead (ed.), Encyclopedia of 20th-Century Technology , vol. 2, Nueva York, Routledge, pp. 785-789.

[32] COLEGIO DE INGENEIROS DEL PERÚ. Tribunal Nacional de Ética [en línea]. <http://www.cip.org.pe/index.php/institucional/tribunales-deontologicos/tribunal-nacional-de-etica.html> [consulta: 6 de agosto de 2012]

[33] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI) [en línea]. <http://www.vdi.eu/> [consulta: 6 de agosto de 2012]

[34] VDI. MENSCH & TECHNIK [en línea] <http://www.menschundtechnik.com/2012-ausgabe-1/> [consulta: 2 de agosto de 2012].

[35] ROYAL ACADEMY OF ENGINEERING (RAE) [en línea] <http://www.raeng.org.uk/> [consulta: 2 agosto 2012].

[36] BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE – BCN. El Estado [en línea]. <http://www.bcn.cl/ecivica/estado> [consulta: 20 julio de 2012].

[37] ESTADO DE CHILE. Constitución Política de la República de Chile. 2009.

[38] UNIVERSIDAD DE CHILE. Misión y Visión de la Universidad de Chile [en línea]. <http://www.uchile.cl/portal/presentacion/institucionalidad/4681/vision-y-mision> [consulta: 24 de enero de 2012].

[39] CONTRERAS, Eduardo. Apuntos sobre Evaluación Social. Departamento de Ingeniería Industrial , Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas , Universidad de Chile. Sin más referencias bibliográficas.

[40] BENTHAM, Jeremy. Escritos Económicos. FCE. México, 1978.

[41] PEÑA, Efraín y BLENT, Lincoln. Mercado del Carbono. Perspectiva 17: 27-29. 2007

[42] POKHREL, D. y VIRARAGHAVAN T., Treatment of pulp and paper mill wastewater -a review. Science of the Total Environment vol. 333: 37- 58. Octubre 2004.

[43] CELULOSA ARAUCO Y CONSTITUCIÓN S.A. Estudio de Impacto Ambiental, Planta de Celulosa Valdivia [en línea] <http://seia.sea.gob.cl/expediente/expedientesEvaluacion.phpmodo=ficha&id_expediente=891034>. [consulta: 24 de enero 2012].

[44] CONAF. Plan de Gestión Ambiental Río Cruces [en línea]. <http://www.conaf.cl/parques/seccion-plan-gestion-ambiental-rio-cruces.html> [consulta: 26 abril de 2012].

[45] MUÑOZ, Andrés. Desarrollo cronológico del conflicto ambiental en los humedales del río Cruces, primer sitio Ramsar de Chile. Cómite chileno, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). 2005

[46] ACCIÓN POR LOS CISNES. Movimiento ciudadano Acción por los cisnes [en línea] <http://www.accionporloscisnes.org/> [consulta: 26 de abril de 2006]

[47] CONTRERAS, Alejandra. Hacia una nueva etapa en la Gestión Ambiental chilena: El caso Celco. Tesis (Magíster en Gestión y Políticas Públicas. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Septiembre 2006.

[48] DIRECCION REGIONAL CONAMA Xa REGION DE LOS LAGOS - UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE . Informe Final: Estudio Sobre Origen De Mortalidades Y Disminucion Poblacional De Aves Acuaticas En El Santuario De La Naturaleza Carlos Anwandter, En La Provincia De Valdivia . 18 de Abril, 2005.

[49] FREDES, Miguel. Cambios negativos en las características ecológicas del Primer Sitio Ramsar de Chile: Causas del problema, conclusiones y recomendaciones para su uso sostenible. Centro Patagónico de Derecho Ambiental y de Recursos Naturales (CEPDA) . 2006.

[50] FACULTAD DE CIENCIAS, UNIVERSIDAD DE CHILE. Segundo Informe de Avance: Elaboración De Un Modelo Conceptual Del Ecosistema Del Humedal De Río Cruces. Marzo, 2008 .

[51] ALVARADO, Jorge. Informe Pericial Causa Rol Nro. 746-2005 Caratulada “Estado-Fisco con Celulosa Arauco y Constitución S.A. 1° Juzgado Civil de Valdivia. Marzo, 2011.

[52] MARIN, V., et al. On the sudden disappearance of *Egeria densa* from a Ramsar wetland site of Southern Chile: A climatic event trigger model. Ecological Modelling, 220: 1752–1763. 10 Agosto 2009.

[53] URRUTIA, Marcos, Gerente de Ingeniería del proyecto. Diario Estrategia, 1996.

[54] COMISIÓN REGIONAL DEL MEDIO AMBIENTE DÉCIMA REGIÓN DE LOS LAGOS. Resolución de Calificación Ambiental 279/98. Puerto Montt, 30 de Octubre de 1998.

[55] COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE, DIRECCION EJECUTIVA. Resolución Exenta Nº009. Santiago, 04 de febrero de 1999.

[56] Alerta por muerte de Cisnes, El Austral de Valdivia, Chile, 23 de octubre de 2004.

[57] MA&C CONSULTORES, CONAMA X Región. Informe Final N°3, Versión 2: Apoyo al seguimiento ambiental del proyecto celulosa planta Valdivia Celulosa Arauco y Constitución S.A. Noviembre 2004.

[58] ZAROR, Claudio. Apoyo al análisis de fuentes de emisión de gran magnitud y su influencia sobre los ecosistemas de la subcuenca del río Cruces, Informe Final. Marzo, 2005.

[59] ALTAMIRANO, Carolina y PONCE, José. Planta de celulosa Arauco en una perspectiva económica-social de Valdivia. Tesina (Licenciado en Administración). Universidad Austral de Chile, Escuela de Ingeniería Comercial. Valdivia, Chile, 2006.

[60] COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE DÉCIMA REGIÓN DE LOS LAGOS. Resolución Exenta N° 377. 6 de Junio, 2005.

[61] MONSÁLVEZ, Elizabeth. Evidencia de compuestos con actividad estrogénica presentes en un efluente de celulosa Kraft, mediante el uso de una cepa de levadura modificada . Memoria (Licensiada en Biología)Unidad de Investigación presentada a la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas de la Universidad de Concepción . 2007.

[62] REPUBLICA DE CHILE, Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República, Decreto Nº 90, Establece Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes asociados a la Descarga de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales, 2000.

[63] KIESSLING , Yeisse. Implementación De Un Plan Piloto Aplicando Mantenimiento Centrado En Confiabilidad, En Planta De Tratamientos De Efluentes, Celulosa Arauco Y Constitución, Valdivia. Trabajo de Título (Ingeniero Mecánico). Universidad Austral de Chile Facultad de Ciencias de la Ingeniería Escuela Ingeniería Civil Mecánica . Valdivia , Chile, 2008.

[64] ROJAS, Marcela y VELASCO, Jorge. Crisis de Planta Valdivia. Revista Ingenieros 15: 12-15. 2005

[65] BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS, EXTENSIÓN Y PUBLICACIONES. Décima Región Recursos Y Potencial Productivo . BCN. Santiago, Agosto 2005.

[66] PIZARRO, Rodrigo y ESPINOZA, Consuelo. Evaluación De Los Impactos De La Producción De Celulosa . Publicaciones Terram, Análisis de Políticas Públicas N°4. 2001

[67] CELULOSA ARAUCO Y CONSTITUCIÓN S.A., Estudio de Impacto Ambiental "Sistema de Conducción y Descarga al mar de Efluentes Tratados de Planta valdivia", Febrero 2009

[68] FOELKEL , C., GERBER y W., NEETZOW, R. Fase 01 Del Informe De Auditoria De Planta Valdivia, Chile Perteneciente A Celulosa Arauco Y Constitución S.A. Centro

Nacional de Tecnologías Limpias (CNTL). Mayo 2005.

[69] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. SEA – Servicio de Evaluación Ambiental [en línea]. <http://www.sea.gob.cl/> [consulta: 12 de mayo 2012].

[70] CUENCA, Lucio. OBSERVATORIO LATINOAMERICANO DE CONFLICTOS AMBIENTALES (OLCA). Celulosa Arauco en Valdivia: El desastre ambiental en el Río Cruces, resultado del modelo forestal chileno [en línea]. <http://www.olca.cl/oca/chile/region10/cisnes152.htm> [consulta: 12 de mayo de 2012].

[71] ENCUESTA CASEN. Pobreza [en línea] <http://www.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/casen/definiciones/pobreza.html> [consulta: 20 julio de 2012].

[72] BIBLIOTECA DEL CONGRESO NACIONAL DE CHILE. Reportes Estadísticos Comunales [en línea] <http://reportescomunales.bcn.cl/index.php/P%C3%A1gina_principal> [consulta: 20 de julio de 2012].

[73] CRAWLEY, E. et al. The CDIO Syllabus v2.0 : An Updated Statement of Goals for Engineering Education . Proceedings of the 7 International CDIO Conference, Technical University of Denmark, Copenhagen, June 20 – 23, 2011 .

[74] LA TERCERA. Industria salmonera chilena perdió la mitad de su valor económico por virus ISA entre 2007-2011 [en línea] <http://www.latercera.com/noticia/negocios/2011/03/655-350790-9-industria-salmonera-chilena-perdio-la-mitad-de-su-valor-economico-por-virus-isa.shtml> [consulta: 1 de agosto de 2012].

Anexos

Anexo A

Evaluación tecnológica de la bolsa de papel, extraída de[24]

F internos / F Sociales	Económicos	Culturlales	Éticos	Políticos	Flora	Fauna	Suelo	Aire	Salud	Energía	Observaciones
Eficiencia Alcanzar metas y resultados esperados	X	X		X	X	X	X	X		X	La meta deseada se obtuvo al lograr obtener un instrumento en el que se transportaran varios productos. Culturalmente fue aceptado
Eficacia Lograr los fines que se desean	X	X		X	X	X	X	X			Se logran los fines propuestos, pero tiene varias consecuencias no previstas como: la erosión del suelo, y a la disminución de animales que viven en el bosque
Factibilidad ¿Se cuenta con los recursos necesarios?	X	X		X	X	X	X			X	La bolsa de papel fue factible de realizar porque se contaba con la materia prima y los recursos económicos necesarios, sin embargo no se contemplo que al talar el bosque se contribuía a la erosión del suelo, y a la disminución de animales que viven en el bosque. Culturalmente no había mucha preocupación por los recursos naturales
Fiabilidad Qué tan confiable es el sistema	X			X	X	X	X	X	X	X	La bolsa de papel, era de fiar sólo cuando el producto era ligero y el traslado del centro comercial al lugar de destino era cercano. La bolsa de papel se rompía por el peso o por las inclemencias del tiempo.

Anexo B

Sanciones registradas por la operación de la planta de celulosa Valdivia entre los años 2004 y 2007.

1.- 24/05/04, Resolución Exenta Nº0387 que sanciona a CELCO con una Multa ascendente a **900 UTM ($ 27.000.000)**, por el incumplimiento a RCA respecto a **descarga de emergencia no evaluada** y por no dar cumplimiento a los puntos 2,11 y 13 de la Resolución N°279/98.

2.- 09/12/2004, Resolución Exenta Nº0818 que sanciona a Celulosa Arauco y Constitución S.A. con una Multa ascendente a **200 UTM** por incumplimiento de las normas y condiciones sobre la RCA Nº279/98 respecto del Programa de Monitoreo con **muestreo de organoclorados** que debía ser presentado el 31/08/2004.

3.- 15/03/2005, Resolución Exenta Nº182 que sanciona por **incumplimiento en descargar aguas de refrigeración al sistema de colector de aguas lluvias de la planta, residuos sólidos, en específicos lo provenientes del sistema de tratamiento se están disponiendo en el vertedero de la planta**, que en visita inspectiva realizada por la Autoridad Sanitaria con fecha 14/11/04 a propósito de una denuncia se detecto un vertimiento de efluente no autorizado a través de una canalización a orillas del camino que va desde la planta Valdivia hacia estación de Mariquina.

4.- 18/03/2005, Resolución Exenta Nº197 que sanciona por incumplimiento a: **operación de instalación con capacidad mayor producción**, uso de aguas en proceso no autorizado ambientalmente, incumplimiento a parámetros del Plan de Seguimiento Ambiental en la calidad del río Cruces, en el efluente, en la calidad del aire.

5.- 07/06/2005, Resolución Exenta Nº378 que sanciona con **200 UTM** por **ausencia de caracterización de efluente respecto a Aluminio, Sulfatos Disueltos y Manganeso**, considerando el actual vertimiento de estos al río Cruces, sin haberlos considerado en la evaluación ambiental. Se sanciona además por incumplimiento de normativa respecto al parámetro Arsénico por los niveles de concentración detectados en Noviembre del año 2004. 6.- 05/09/2005, Resolución Exenta Nº567 que sanciona con **300 UTM por descarga de lixiviados en sector vertedero**.

7.- 30/01/2006, Resolución Exenta Nº060 que sanciona con una **Amonestación por no haber caracterizado el dióxido de azufre como parte del Programa de Monitoreo.**
8.- 13/07/2007, Resolución Exenta Nº467 que sanciona con una Amonestación al proyecto "Obras Definitivas de Laguna de Derrames de Emergencia en Planta Valdivia" por las modificaciones que implica el **no haber informado antes de la situación normal de la laguna**, es decir, que no esté siempre vacía en caso de no emergencias. Además, la Autoridad Sanitaria y la SISS han llevado a cabo procesos de sanción sectorialmente. **La Autoridad Sanitaria ha sancionado a la empresa en varias oportunidades**: por **emisión de ruido (febrero 2004), emisión de olores (dos veces durante 2004), y por temas de seguridad laboral, entre otros**. Está en trámite un sumario sanitario por fuga de gases TRS por falla de una válvula el día 19 de mayo de 2007 el que aún no ha sido resuelto.

Anexo C

Consumo de insumos para una producción de 550.000 toneladas anuales de celulosa kraft de la planta de celulosa Valdivia según lo presentado en la RCA 279/98

Parámetro	Concentración, mg/l
DQO	313
DBO5	50
AOX	7,6
ClO3-	17
Sólidos Suspendidos	50
Nitrógeno Total	4,2
Fósforo Total	0,33
Color	367
Ácidos Grasos	0,27
Ácidos Resínicos	0,033
Clorofenoles	0,067
Arsénico	0,001
Cadmio	0,01
Cobre	0,07
Cromo	0,05
Fierro	1,3
Mercurio	0,005
Molibdeno	0,05
Níquel	0,06
Plomo	0,03
Zinc	1,0
Temperatura, °C	30