



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

BASES PARA UNA INGENIERÍA SUSTENTABLE:
TECNOLOGÍA, SOCIEDAD Y NATURALEZA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL QUÍMICO

MANUEL JOSÉ WARNER BEHRENS

PROFESOR GUIA:
FELIPE DIAZ ALVARADO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
ANDREA RODRIGUEZ SILVA
JORGE CASTILLO GUZMAN
ANDRÉS MONARES RUIZ
JUAN ASENJO DE LEUZE

SANTIAGO DE CHILE
2017

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA
OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero
Civil Químico
POR: Manuel José Warner Behrens
FECHA: 23/01/2017
PROFESOR GUIA: Felipe Díaz
Alvarado

BASES PARA UNA INGENIERÍA SUSTENTABLE: TECNOLOGÍA, SOCIEDAD Y NATURALEZA

El presente trabajo busca desarrollar una base teórica que respalde los avances de la ingeniería hacia una alternativa más ecológica y sustentable.

A partir del diagnóstico de una crisis socioambiental, se proponen cambios a las bases que sustentan la ingeniería como disciplina constructora de tecnologías, servicios y procesos. Para lograr identificar tales bases y generar propuestas, se estudian tres relaciones que dan sentido a la disciplina: Ingeniería y Técnica, Ingeniería y Sociedad, e Ingeniería y Naturaleza.

En estos ámbitos, se identifican enlaces entre las bases teóricas de la ingeniería, las decisiones sostenidas sobre tales bases y los efectos en la realidad técnica, social y ambiental. Algunos de estos enlaces conducen a una valoración de la ciencia y tecnología sobre los aspectos culturales, una significativa lejanía de las propuestas de la ingeniería con respecto a la realidad social y una concepción de la naturaleza como una exclusiva fuente de recursos.

Se proponen modificaciones a las bases conceptuales de la ingeniería, que permitan mejorar sus efectos, generando conocimiento, tecnologías, servicios y procesos que buscan dar solución a las brechas sociales ligadas al acceso a la tecnología y la desigual distribución de recursos económicos, al tiempo de proponer una mirada responsable en el uso de los recursos naturales. Las principales modificaciones propuestas corresponden a: un foco crítico y consciente sobre el lugar que ocupa la ingeniería en la sociedad, una integración de la disciplina en las dinámicas sociales a intervenir y una redefinición de la naturaleza como un entorno a mantener.

Finalmente se hace un análisis de un proyecto de ingeniería para desarrollo local bajo la matriz del CDIO, tomando las bases antes propuestas para la Ingeniería. Se determina que en la etapa de concepción es pertinente cuidar la incorporación de opiniones, experiencias y necesidades únicas del contexto, para provocar una adaptación del diseño a su contexto social. Sobre el diseño, se determina que es necesario incorporar energías renovables e integración de residuos en la elección de tecnologías, para provocar una adaptación ambiental a la realidad. Sobre la implementación y la operación se identifica que el ejercicio participativo y de carácter educativo es de suma utilidad para que la sociedad rompa las barreras con la tecnología y el acceso a esta.

Ecopoemas

Nicanor Parra

*Como su nombre lo indica
el Capitalismo está condenado
a la pena capital:
crímenes ecológicos imperdonables
y el socialismo burocrático
no lo hace nada de peor tampoco*

*QUÉ le dijo Milton Friedman
a los pobres alacalufes?
“a comprar a comprar
quel mundo se vacabar!”*

Tabla de contenido

Problematización	1
Parte I: Ingeniería y técnica	10
Definiciones de ingeniería.....	12
Un método de la ingeniería.....	15
Habermas y la conciencia tecnocrática.....	17
Feenberg y la teoría crítica de la tecnología.	21
Otra ingeniería: la renovación del puente Q'eshwachaka	26
Parte II: Ingeniería y sociedad	31
Desde la ética de la reciprocidad hacia la ingeniería en sociedad	32
La ecología social: humano y ambiente	35
Sistemas tecnológicos e ingeniería heterogénea.....	37
¿Ingeniería a otra escala?	40
Parte III: Ingeniería y naturaleza	44
Naturaleza y desarrollo	45
El diseño de la cuna a la cuna	49
Kalundborg y la simbiosis industrial	52
Algunas ideas sobre la naturaleza	58
Síntesis.....	62
Ingeniería y técnica.....	63
Ingeniería y sociedad.....	66
Ingeniería y naturaleza	68
Ingeniería sustentable: ¿Dónde empezar?	72
Estudios transversales en humanidades y ciencias sociales	73
Desarrollo de proyectos en contexto.....	77
Conclusiones	89
Bibliografía.....	91

Problematización

Se podría decir con bastante seguridad que la ingeniería ha desarrollado un papel central en el avance tecnológico del hombre a través de la historia. El uso de herramientas, la construcción de viviendas, la revolución agrícola y el asentamiento de las civilizaciones, la expansión de estas y la resolución de los problemas técnicos que surgen de las nuevas necesidades emanadas desde la ciudad: puentes, caminos, salud, alimentación, transporte, energía, entre otros, son ejemplos vivos de cómo la tecnología, llevada a cabo a través de la ingeniería, es uno -aunque no el único- de los medios para el desarrollo técnico humano. Considerado esto, es claro que las necesidades tecnológicas de la especie han evolucionado a lo largo de la historia, y la ingeniería, por medio de sus métodos y práctica, ha permitido la búsqueda de solución a esas necesidades, emergentes y cada vez más complejas, que emanan del avance de la técnica.

A partir de la revolución científica, acontecida entre los siglos XVI y XVII, la ingeniería se acopla firmemente a un nuevo ideal de ciencia que le permite posicionarse en la sociedad europea como el motor del desarrollo. Esta unión, de ingeniería y ciencia, dio origen a la revolución industrial británica del siglo XVIII, momento crucial para entender el estado actual de la disciplina y las implicancias que tuvo el desarrollo de ésta. El potencial de disposición técnica que otorgó el matrimonio entre la ciencia y la tecnología asentó la idea de que ocupamos, como humanos, un lugar central en el mundo. De pronto, se abrió ante nosotros la posibilidad de incidir en la naturaleza como nunca antes. Nuestro conocimiento empírico del mundo permitió develar los misterios de una naturaleza antes incomprendida y ahora tan a la mano que nuestras herramientas tecnológicas tienen el poder de transformarla, pero, lamentablemente, el poder que trajo consigo la naturaleza dominada, dio rienda suelta a un proceso transformativo, que luego de siglos de avance, culminó en una sociedad sumida en la desigualdad y un medio ambiente al borde del colapso.

La revolución industrial significó un cambio profundo en las formas de producción y desarrollo de la sociedad. Se pasó de un aparato productivo centrado principalmente en la agricultura y el trabajo manual a uno basado en la producción masiva, urbana y mecanizada. Se desarrollaron medios productivos nuevos y más grandes que necesitan de fuentes energéticas más potentes y de aprovechamiento más eficiente que la tracción animal o el uso mecánico del viento y el agua. Surgió el carbón como el alma de la industria, y, gracias a él, el aparato productivo, como una locomotora, avanzó rápidamente en dirección de lo que en ese momento se llamó progreso.

El siglo XIX significó un asentamiento de los principios que comenzaron a regir con las revoluciones científicas e industriales. La ciencia y la técnica se posicionaron como la matriz con la que se midió el progreso de la civilización occidental. La industrialización permitió a las potencias europeas y norteamericanas tener los recursos y las formas de colonizar, y en consecuencia, expandir el ideal de progreso que pregonaban. El *desencantamiento del mundo* que surgió del traslado del pensamiento desde una realidad orgánica hacia una mecánica, dio el espacio suficiente para que la ciencia moderna y la tecnología tomarán el timón dando dirección a los esfuerzos de progreso.

La unión, entonces, de una ciencia y tecnología con fines utilitarios, junto a una industria guiada por la necesidad de crecer, puso en marcha la maquinaria necesaria para que a lo largo de los siglos, la degradación sistematizada del medio ambiente se convirtiera en un problema real que necesita una solución urgente.

Desde la segunda mitad del siglo XX, el tema ambiental comenzó a cobrar sentido en la discusión internacional. En 1972 se realizó en Estocolmo la “Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente Humano”, donde participaron diversas naciones del mundo, desarrolladas y subdesarrolladas, con el objetivo de fijar metas para la conservación del medio ambiente natural y humano. En la conferencia se concluyeron 24 principios que abarcan problemáticas como el derecho del hombre de disfrutar y la obligación de cuidar y mejorar el medio ambiente, que los recursos naturales deben preservarse en beneficio de las generaciones presentes y futuras, y que se debe poner fin a las descargas de sustancias tóxicas y la liberación de calor en cantidades tales que el medio no pueda neutralizar, entre otros puntos.¹

Avanzaban los años y el problema ambiental no hallaba un espacio en el debate político. Las naciones que participaron de la conferencia de 1972 contribuyeron considerablemente al desarrollo de la ciencia y la tecnología que permitiera combatir, o minimizar, los efectos nocivos hacia el medio ambiente, pero no integraron dentro de sus políticas de desarrollo los puntos acordados, por lo tanto, lejos de desaparecer el problema tomó más fuerza.

En 1987, a partir de la iniciativa de la recién creada “Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo” (1983), se declaró mediante el informe “Nuestro Futuro Común” que: “Para satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias, la protección del medio ambiente y el crecimiento económico habrían de abordarse como una sola cuestión, dando origen al concepto de desarrollo sustentable”.² Las conferencias y comités mundiales continuaron organizándose a lo largo de los años, en 1992 se realizó la “Cumbre para la Tierra” en Rio de Janeiro, donde los gobiernos aprobaron el Programa 21, luego, en el 2002 se realizó en Johannesburgo la “Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible”, donde se revisarían los avances respecto a las cumbres anteriores y se propondrían soluciones de mayor alcance y profundización. En estas conferencias se declararon principios como la necesidad de “erradicar la pobreza, la modificación de prácticas insostenibles de producción y consumo, y la protección y ordenación de los recursos para el desarrollo social y económico”, además de reforzar la idea de que “para lograr los objetivos propuestos se necesitan de instituciones internacionales y multilaterales reforzadas y responsables”, distinguiendo la función de las Naciones Unidas como la “organización más universal y representativa del mundo, identificándola como la más indicada para promover el desarrollo sostenible”.³ Otro aspecto relevante que se desarrolló en estas conferencias es la paulatina transferencia del conflicto netamente ambiental, hacia uno de carácter socioambiental. Se reconoció que los intentos anteriores para encontrar solución a la crisis ambiental no lograban abarcar la totalidad del problema, y que para lograr esto, era necesario integrar en la discusión elementos como la desigualdad de oportunidades, la mala distribución de los frutos del progreso y sus consecuencias directas como el hambre, la pobreza y el desempleo.

¹ GENESIO, L & OTERO, L. (2012)

² GENESIO, L & OTERO, L. (2012, p7)

³ GENESIO, L & OTERO, L. (2012, p7)

A partir del 1 de Enero del 2016, impulsados por la ONU, entraron en vigencia los “17 objetivos de desarrollo sostenible”⁴. En ellos, se hace un llamado a la participación activa en el cumplimiento de dichos objetivos, con el fin de alcanzar una sociedad igualitaria en cuanto a la distribución de riquezas, conocimiento y oportunidades. Los objetivos también plantean la necesidad de realizar un cambio sustantivo, no solo en las esferas sociales, sino que también frente a la imperante amenaza del cambio climático y sus devastadoras consecuencias. Argumentan que como sociedad tenemos los medios humanos y tecnológicos para lograr los objetivos planteados, e incluso, comentan que a lo largo de los años de avance en materias de desarrollo sostenible, se ha identificado “que estos problemas no son accidentes de la naturaleza ni son productos de fenómenos ajenos a nuestro control. Son consecuencia de acciones y omisiones de las personas, las instituciones públicas, el sector privado y otros encargados de proteger los derechos humanos y defender la dignidad humana.”⁵

Sin lugar a dudas, el avance en la discusión sobre desigualdades sociales y cambio climático ha visto progreso desde que se comenzó a plantear, de manera seria, en los años 70. La discusión ha ganado terreno en los círculos científicos, sociales y en algunos casos, políticos, pero la imagen que plasma, luego de más de 40 años de discusión, es que nuestra sociedad sigue en crisis y el reflejo de esto es la efervescencia social, el descontento generalizado y la permanencia de los mismos problemas que originalmente llamaron nuestra atención. Sigue en una crisis que no logramos abordar en toda su complejidad: Se dividen las fuerzas en el combate contra la pobreza y desigualdades de una sociedad que mantiene un *primer mundo* bajo un estado de bienestar y comodidad abismantes comparados con los estándares mundiales. Por ejemplo, considerando que Chile tiene el índice *Gini* más alto de la OCDE, es decir, nuestro nivel de desigualdad económica supera el de países íconos en modos capitalistas como E.E.U.U, las empresas de autos de lujo Ferrari y Maserati pretenden instalar en nuestro país sus casas matrices debido al considerable aumento en las ventas de sus productos⁶. ¿Cómo explicar esta iniciativa con un argumento distinto a la desigualdad económica? Se dividen las fuerzas en la formulación de alternativas viables para un desarrollo que no signifique una destrucción sistemática de la naturaleza, puesto que los poderes políticos y empresariales, especialmente del sector privado, dirigen sus esfuerzos hacia la perpetuación de un modelo donde el crecimiento constante es sinónimo de progreso. Se dividen los esfuerzos y al hacerlo se oscurece un problema más profundo que lo medible y cuantificable, un problema que apunta hacia cómo entendemos las relaciones entre las personas y la naturaleza, o hasta donde pretendemos llegar con nuestro desarrollo.

La crisis que comento también se deja ver en cómo responden organismos internacionales ligados a políticas neoliberales como el FMI y el Banco Mundial. Sobre esto mismo, el Banco Mundial aprobó, recientemente, un nuevo marco social y ambiental para la implementación y operación de los proyectos que financia⁷. Con esta nueva política busca fortalecer los lazos entre los gobiernos o instituciones financiadas con las comunidades locales y el medio ambiente partícipes de los proyectos. El foco está en minimizar los riesgos en que incurren las organizaciones

⁴ NACIONES UNIDAS (2016)

⁵ NACIONES UNIDAS (2014)

⁶ DURÁN (2016)

⁷ BANCO MUNDIAL (2016)

con el fin de que los proyectos impulsados lleguen a término y efectivamente se transformen en elementos que contribuyan a disminuir la desigualdad económica.

Del mismo modo, comentaristas del FMI que comparten una preocupación similar a la del Banco Mundial argumentan que el modelo neoliberal tiene algunos elementos que a la larga contribuyen más al incremento de la desigualdad económica en contraposición a lo generalmente aceptado por este modelo de que el progreso económico es progreso social⁸. Sus críticas apuntan a ciertos mecanismos del mercado neoliberal, la austeridad y la apertura del mercado, que generan un ciclo de feedback adverso en el sentido de que al ser fuentes de inequidad contribuyen al crecimiento de la desigualdad terminando por entorpecer el crecimiento económico que la agenda neoliberal tanto añora.

Desde el lado ambiental, el IPCC publicó en el año 2014 el informe: “Cambio Climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad” donde resumen de muy buena manera los impactos observados, los problemas que se avecinan y como generar redes de resiliencia respecto al cambio climático. Hago énfasis en las descripciones que entregan sobre la capacidad adaptativa de distintos espacios geográficos, incluyendo su flora, fauna y sociedades humanas, frente a los aumentos de temperatura y los efectos que este fenómeno acarrea.⁹ Es importante considerar las opiniones de expertos en áreas científicas y de gestión pública sobre los fuertes impactos del hombre en su entorno, ya que evidencian con información concreta y alto respaldo un conflicto que a ratos se invisibiliza por su escala masiva.

A continuación, y con el objetivo de hacer más cercana la idea de crisis socioambiental que planteo, desarrollaré el ejemplo de nuestro ideal de progreso occidental cómo una máquina, que operada por el humano, avanza rápidamente hacia un futuro incierto y problemático.

Una máquina es un aparato compuesto por una diversidad de piezas y mecanismos ajustados entre sí, que cuando operan en conjunto son capaces de cumplir una función específica. Por lo general, las máquinas sirven para convertir energía en trabajo o movimiento, permitiendo reducir el esfuerzo y el tiempo necesario para el desarrollo de actividades. Las máquinas son parte fundamental del progreso tecnocientífico occidental, su uso ha permitido un mejor aprovechamiento de las fuentes energéticas, dando como resultado un desarrollo y perfeccionamiento de los métodos ligados a la tecnología y la transformación del entorno que ésta permite.

Si queremos ilustrar el progreso occidental como una máquina, debemos primero identificar sus partes y cómo éstas se ajustan entre sí. Para eso tomaré tres elementos ligados a la idea de progreso: la tecnología, la sociedad y la naturaleza, y a partir de ellos desarrollaré su ajuste que da sentido a ésta máquina en movimiento.

La tecnología corresponde a los mecanismos, piezas y formas que estructuran la máquina. Gracias a sus leyes y principios podemos estar seguros de que en ningún momento se soltará un tornillo o se romperá una cinta, entorpeciendo el avance de la máquina y dejándonos atascados. Si nuestra máquina fuera un automóvil, por ejemplo, la tecnología representa el motor, los ejes, las ruedas y toda

⁸ OSTRY (2016)

⁹ IPCC (2014, Figura RRP.2)

la infraestructura que hace que el auto pueda funcionar, siempre y cuando tenga una fuente energética y alguien que lo conduzca.

La sociedad corresponde, entonces, al conductor de la máquina. Es ella quien toma las decisiones de cómo operar y hacia donde desea que llegue. Son las personas, sus intenciones y sus necesidades las que guían el ideal de progreso hacia un fin específico. Entonces deben ser éstas las que definen la ruta a seguir, quienes se encargan del buen funcionamiento de cada parte de la máquina y cómo debemos mantenerla para que nunca deje de avanzar.

Finalmente, la naturaleza corresponde a la fuente energética que mantiene el aparato en movimiento. Es a partir de su estudio, como forma de entenderla y aprovecharla, que el operador es capaz extraer el combustible necesario para impulsar a la tecnología que permite el funcionamiento adecuado de la máquina.

En base a estos tres elementos podemos hacernos una imagen simplificada de cómo funciona una máquina que representa el ideal de progreso occidental. La tecnología (y los principios científicos que la rigen) es la fuente de verdad que determina la forma y contenido del progreso. La sociedad es el operador que determina el rumbo y la velocidad con la que se mueve, además de ser el motivo mismo por el que el progreso avanza. Y la naturaleza es la fuente de recursos que alimenta el avance del progreso y para eso es estudiada con el fin de ser utilizada.

La idea de crisis que quiero plantear surge de una mirada crítica sobre el ejemplo dado. Puedo proponer una serie de preguntas que hacen cuestionar el cómo entendemos esta máquina y los impactos que ha tenido su funcionamiento a lo largo de los siglos de avance.

Sobre la tecnología: ¿de dónde provienen las piezas y mecanismo que conforman la máquina? ¿Cómo fueron ideados y que influyó ese proceso? ¿Bajo qué criterios son elegidas unas sobre otras? ¿Son las piezas provenientes de la ciencia las únicas viables para que la máquina avance? ¿Cómo se ve influenciada la ruta por las piezas que conforman la máquina?

Sobre la sociedad: ¿cómo se define la ruta y la mejor forma de operar? ¿Es el operador el que define la máquina o es ésta la que define quien la opera?, volviendo al ejemplo del automóvil, ¿quién maneja, quién es pasajero y quién hace la mantención? ¿Quién y cómo se escoge el mejor modelo?

Y sobre la naturaleza: ¿se agotará el combustible? ¿Qué pasa con todo lo que no me sirve como fuente energética? ¿Cómo me hago cargo de los desechos que produce el operar? ¿Qué más puedo encontrar además de combustible?

Resulta interesante, entonces, observar el funcionamiento de la máquina de progreso a la luz de las preguntas propuestas. Pero adelantando a las respuestas, es posible hacerse una imagen de que la máquina no está funcionando tan bien como se prometió cuando ésta fue puesta en marcha. Bajo ese argumento y en términos más concretos, puedo identificar al menos tres puntos que hacen pensar que nuestro ideal de progreso no está bien encaminado.

Primero, consideramos la ciencia y la tecnología como la fuente principal de todo conocimiento que nos guíe hacia el progreso. Confiamos en que a partir de esa forma específica de comprender el entorno, es posible dar solución a los problemas

que nos encontramos en el camino, obviando en ese ejercicio los problemas que salen del foco tecnocientífico al mismo tiempo de no preguntarnos qué es lo que influencia nuestra toma de decisiones. Pareciera que la ruta del progreso occidental está en un túnel donde solo la ciencia y la tecnología se observa en el horizonte.

Segundo, desprendimos de todo contexto social nuestro ideal de progreso. Estamos convencidos de que la forma en la que se ha llevado a cabo es la correcta, dado que confiamos ciegamente en las propuestas de la tecnociencia, mirando hacia el lado cuando nos enfrentamos a los problemas de un progreso operado de manera injusta, donde el fruto del trabajo no es repartido de manera equitativa, generando una brecha social y tecnológica que impide la superación de la desigualdad.

Tercero, nuestro ideal de progreso se sustenta en una explotación sistemática y expansiva de la naturaleza. El impacto generado en el medio ambiente no tiene causas naturales. Es nuestra forma de producir, consumir y desechar lo que ha degradado el entorno hasta el punto de que debemos buscar alternativas para sobrevivir.

Alejándome, ahora, de la idea de progreso, quiero volver a la crisis y a cómo la ingeniería se para frente a ella. Los tres elementos que mencioné estructuran el esqueleto de la crisis socioambiental, más adelante veremos otros puntos que contribuyen a darle sentido y profundidad a lo propuesto, pero por ahora es suficiente para hacer una imagen de que el trabajo, en dirección de superarla, es realmente necesario. De no ser así, arriesgamos un futuro plagado de problemas.

Como mencioné anteriormente, la ingeniería es una disciplina que tiene a su disposición el poder de influir en la transformación del entorno. El diseño y el empleo de nuevas tecnologías albergan el doble potencial de ahondar o de terminar la crisis. Se puede mantener una ingeniería que responde a los requerimientos de la máquina de progreso propuesta, generando tecnologías que potencian la desigualdad, la explotación y las formas de control. O se pueden proponer alternativas y nuevas rutas que permitan la transformación del entorno en pos de superar las brechas y construir así una sociedad distinta.

El conflicto de este doble potencial es profundo, si buscamos avanzar hacia una ingeniería vinculada a la sustentabilidad, pensando en un progreso compatible con la justicia social y la conservación del medio ambiente, las herramientas tecnológicas que nos permiten ese avance responden principalmente a una línea ligada al potencial dominante más que al emancipador. Éste problema se da al considerar la historia del avance tecnológico: la máquina de progreso ha desarrollado, a lo largo de los años, las herramientas que le permiten mantenerse vigente, ampliando sus sistemas de control y garantizando los mecanismos que la posicionan sobre otras alternativas. Frente a esto, no es suficiente el reordenamiento de las propuestas, sino que es necesario un ejercicio de replanteamiento y reconsideración de los valores que rigen la búsqueda de soluciones. La ingeniería debe ser repensada con el objetivo de que las propuestas que levante puedan representar, de manera responsable, el potencial liberador de la tecnología.

Bajo ese objetivo es que planteo tres líneas de investigación que servirán como base para el ejercicio de replantear los valores que dirigen la ingeniería. La técnica representa el conocimiento de la disciplina, es lo que hace de la ingeniería un saber único y es a partir de él que se proponen soluciones. Estos elementos hacen que su cuestionamiento sea necesario, si la ingeniería pretende transformar,

la técnica con la que logrará ese cambio debe ser crítica y consciente. La sociedad representa el contexto humano que interactúa con la disciplina, es el origen y la finalidad de toda intervención técnica, por lo que un estudio crítico de ésta permite a la ingeniería situarse de manera adecuada en el entorno que pretende transformar. La naturaleza representa el contexto no humano que contiene a la ingeniería. Determina los límites y los recursos que estructuran las intervenciones técnicas, por lo que la disciplina debe entenderla lejos de la idea de dominación y explotación, dado que de no hacerlo, se corre el riesgo de destruir el planeta que nos da sustento.

Considerando lo dicho, la propuesta de este trabajo es la exploración y cuestionamiento de las tres bases mencionadas. Se propone que a partir de un estudio de éstas, será posible encaminar la ingeniería hacia la posibilidad de construir un futuro sustentable. En palabras simples, se estudiarán los elementos que constituyen la base de la disciplina, con el fin de proponer una nueva ingeniería.

Luego, como objetivos generales se proponen: A. La investigación en las tres líneas mencionadas: técnica, sociedad y naturaleza, con la intención de ponerlas en perspectiva mediante el estudio de puntos de vista alternativos y la identificación de elementos que necesitan una revisión crítica. Y B. La proposición de nuevas bases teóricas, en lo relacionado a la tecnología, sociedad y naturaleza, que respondan directamente a los elementos problemáticos identificados.

El diagrama (**Ilustración 1**) representa el flujo de información a modo de metodología de la investigación. Comienza con el análisis crítico de la ingeniería y la determinación de las tres relaciones a desarrollar: técnica, sociedad y naturaleza. Luego, a partir de la consulta de fuentes relacionadas a cada eje, la identificación de problemáticas existentes en la disciplina y la experiencia acumulada en ésta, se estructuran los elementos constitutivos para una base conceptual de una ingeniería responsable. A partir de esa definición planteo alternativas, haciendo alusión a las propuestas de origen externo a esta investigación y propuestas propias para la construcción de una ingeniería sustentable capaz de dar solución a la crisis socioambiental.

La justificación de ésta búsqueda se sustenta en la necesidad de generar las herramientas propias de una disciplina con aspiraciones a transformar el estado actual de las cosas, pero, como se comentó anteriormente, las herramientas actuales son, en su mayor parte, producto de un modelo que perpetúa relaciones de dominación con el hombre y con la naturaleza, por lo que en su diseño e implementación subyace un mensaje que no armoniza con el entorno humano y natural.

Un segundo elemento que justifica este trabajo se encuentra en las palabras de Eduardo Fernández Gijón en su ensayo "Las ciencias sociales en la crítica de la tecnociencia". El autor argumenta a favor de la necesidad de un cuestionamiento profundo en las disciplinas ligadas a la ciencia y tecnología, a partir del incumplimiento de las promesas levantadas por la razón tecnocientífica. Se pregunta, por ejemplo: "¿Por qué no han desaparecido los ciclos económicos, tal y como algunos vaticinaban? [...] ¿Qué ha sido de la desaparición de las fronteras y el ocaso del Estado-Nación? En fin, ¿por qué se retrasará tanto ese final feliz de las ideologías y de la Historia [...]?", insiste en la decepción de una tecnociencia que prometió prosperidad, pero que en su desarrollo produjo más desigualdad y conflicto. Propone el avance hacia una crítica originada en los propios expertos de las ciencias

y la ingeniería ya su efecto es doble. Por un lado se trabaja en pos de socavar la estructura ciega, arrogante y narcisista de estas disciplinas en el modo en que se plantean la comprensión de lo que acontece, y la responsabilidad que tenemos frente a lo mismo. Y, por el otro lado, abre las vías hacia la formulación de nuevas aproximaciones a cómo plantear la ciencia y la ingeniería en pos de lograr “el difícil objetivo de un verdadero control democrático de la ciudadanía sobre las realizaciones de ciencia y tecnología”¹⁰.



Ilustración 1: Diagrama de la metodología de trabajo con sus preguntas principales

Entonces, este trabajo se encamina en la vía de la exploración de alternativas que nos permitan construir la ingeniería, que en su aplicación, genere un cambio cualitativo en el entorno social y natural. Considerando, con este cambio, no sólo la implementación de sistemas técnicos capaces de responder adecuadamente a las necesidades propias del desarrollo responsable, sino a la necesidad de re-pensar cómo son los vínculos existentes entre ingeniería y sociedad e ingeniería y naturaleza, ya que desde esa revalorización o reencuentro, germinarán propuestas

¹⁰ FERNÁNDES (2004, p258)

con el potencial de cumplir las promesas de libertad propias de la tecnología, al tiempo que nos permitirán seguir existiendo en una relación armónica con nuestro entorno.

El camino para lograr esto es largo y no pretendo hacerme cargo de él en este trabajo, ya que considero, en primera instancia, que la construcción de estas nuevas herramientas son un trabajo esencialmente colaborativo, y que para surgir, necesita de un flujo constante de propuestas y aplicaciones. Por lo tanto, aquí, como he mencionado anteriormente, se explorarán propuestas de diversos autores sobre temas que no tienen, a primera vista, una relación directa con la ingeniería, pero que en el ejercicio de buscar e integrar, surgen conexiones con el quehacer de la disciplina, y pueden aportar, desde el plano de las ideas, a formular conceptos capaces de dar nuevas luces sobre las formas habituales de comprender los problemas de ingeniería.

Partiré con la exploración de la relación ingeniería y técnica desde el punto de vista de lo que se entiende por ingeniería y lo influyente que puede ser nuestra intención en el diseño de tecnologías. Seguiré con la relación ingeniería y sociedad, considerando aquí el rol de la disciplina en el desarrollo social, la interdeterminación de las soluciones técnicas y su contexto, y de cómo la tecnología, cuando es entendida y aplicada a una escala humana, tiene la capacidad de transformar para el beneficio común. Finalmente desarrollaré la relación ingeniería y naturaleza a partir del vínculo que existe en el cómo entendemos el concepto de naturaleza y su directa relación con el desarrollo humano. Esto permitirá proponer puntos de vista alternativos sobre la concepción tradicional de naturaleza, esperando que con esto se puedan plantear formas de desarrollo sustancialmente distintas.

Agrego, para cerrar, que creo fundamental el ejercicio de pensar lo que hacemos como ingenieros. Tenemos en nuestras manos un gran potencial de cambio y la forma en que lo aplicamos en nuestro entorno moldea el mundo que viviremos mañana, por lo tanto, la responsabilidad de hacer lo que queremos ver, radica completamente en nuestras manos y en el apoyo que encontramos en todos los que comparten este ideal.

Parte I: Ingeniería y técnica

La palabra técnica tiene al menos dos usos de interés para este trabajo. El primero hace referencia a un conjunto de habilidades y procedimientos, validados por su uso a lo largo de la historia, que permiten la ejecución de alguna acción ligada, por lo general, a las ciencias o a las artes. Ejemplos son metodologías de aproximación a resultados en ingeniería, como métodos gráficos para cálculos de dimensiones o cantidades de calor para un proceso; y, en el lado de las artes, las técnicas específicas para esculpir distintos tipos de piedra o trabajar la madera, entre muchos otros ejemplos.

La segunda acepción hace referencia a un concepto más amplio que el mencionado anteriormente, su uso se relaciona al conjunto de técnicas y su directa aplicación en el entorno dando como resultado una transformación de éste. Luego, en complemento con la definición de técnica de Ortega y Gasset: “la invención de un procedimiento que nos permite, dentro de ciertos límites, obtener con seguridad, a nuestro antojo y conveniencia, lo que no hay en la naturaleza, pero que necesitamos”¹¹, denominaré técnica a la facultad que posee la especie humana para modificar su entorno, buscando saciar sus necesidades emergentes, bajo ciertas restricciones, sean naturales o sociales.

Siguiendo en esa línea, es posible observar que, al ligar invención con técnica, se infiere que ésta es una facultad propia de la especie humana y su capacidad de raciocinio, ya que la invención, como forma de control y aprovechamiento del entorno, le ha permitido al humano la superación de diversas adversidades en su historia, permitiendo con esto la supervivencia de la especie. Vemos, también a partir de la definición de Ortega y Gasset, que la técnica implica una acción concreta guiada por una necesidad específica que no sólo busca ser saciada inmediatamente, sino que ser *resuelta* para que cuando vuelva a surgir, el trabajo necesario para su satisfacción sea menor o inexistente. La técnica es, entonces, la capacidad de nuestra especie de adaptarse al entorno mediante la modificación de éste a través de diversas acciones guiadas por la razón. Desde la invención de herramientas, o tal vez antes, con la necesidad de abrigo, cobijo y alimento, el humano se encaminó en la transformación de su entorno con el fin de saciar sus necesidades.

A partir de estas definiciones, la relación entre ingeniería y técnica emerge de otro concepto propuesto por Ortega y Gasset: los actos técnicos. El filósofo español define el concepto como los actos en los que el hombre no satisface sus necesidades directamente, sino que logra, por medio de ellos, eliminar o reformar la circunstancia o contexto que generó la necesidad en un principio, permitiendo con esto la repetición del acto en un futuro de manera más simple o con un requerimiento técnico menor¹². La definición acentúa elementos mencionados anteriormente; la postergación de satisfacer la necesidad y la potencialidad de reformar la circunstancia que lleva a ésta, e integra elementos nuevos a la ecuación: la acción ligada a la técnica y la mención de disminuir el azar y el esfuerzo relacionado a la satisfacción de una necesidad particular. Con estos elementos en mente, ¿Es la definición del acto técnico una definición de ingeniería? Responder negativamente implicaría obviar las similitudes evidentes entre lo que hace la

¹¹ ORTEGA Y GASSET (1939, p7)

¹² ORTEGA Y GASSET (1939)

disciplina y lo que busca un acto técnico: la ingeniería interviene el entorno, o la circunstancia, con el fin de dar solución a un problema, o necesidad, emergente. Pero sus soluciones no son de carácter inmediato y perecedero, sino que se mantienen en el espacio y tiempo ya que pretenden reducir al mínimo el esfuerzo que implica saciar la necesidad. Un ejemplo simple, que ilustra lo mencionado, es la construcción de un puente, como solución de ingeniería, frente a la necesidad de conexión vial. Se contraponen el uso de embarcaciones para el cruce del canal o río al acto técnico de transformar el entorno con la construcción del puente, eliminando el esfuerzo que implica el uso constante de la embarcación.¹³ Ahora, por el otro lado, responder positivamente a la pregunta anterior implicaría tomar más de lo que la disciplina puede abarcar. No todas las necesidades encuentran una solución en las propuestas de la ingeniería, ya que ésta es capaz de proponer a partir del conocimiento científico y la experiencia previa, luego, esperar que sólo la ingeniería encuentre solución a problemas como la injusticia social, el hambre o el acceso a servicios básicos es ridículo. Problemas complejos requieren soluciones complejas y la ciencia, la ingeniería y sus leyes, por si solas, no dan abasto.

La respuesta correcta sería entonces un sí parcial. La ingeniería es la disciplina que se encarga de dar solución al conjunto de actos técnicos donde, el conocimiento científico y la acumulación de la técnica, son capaces de proveer las respuestas adecuadas.

Acordadas las definiciones pertinentes, el foco de ésta sección está en ahondar en preguntas que van más allá de cómo aplicar el conocimiento técnico en la ingeniería, sino que a preguntarse qué sentido tiene este conocimiento, cómo influye en el actuar de los y las profesionales de la ingeniería y por sobre todo, qué impacto tiene la ingeniería en el entorno donde es aplicada.

En primer lugar recorreré algunas definiciones del concepto de ingeniería; como se plantea y qué impactos tiene cuando se considera su aplicación directa y masificada. Se mostrará un “estado del arte” respecto a cómo se entiende la ingeniería a partir de un manual de ésta, seguiré con una definición del problema de ingeniería y las dificultades éticas inherentes a cualquier profesional de la disciplina. Luego, y en base a los elementos desarrollados, seguiré la crítica de la *tecnocracia* de Jürgen Habermas en “Ciencia y técnica como *ideología*”. Su crítica hará explícito el contexto de dominación inherente a los sistemas de producción y sostenimiento del modelo de progreso occidental y como el problema ético planteado anteriormente no tiene una solución simple y única frente a la conciencia tecnocrática dominante. Finalmente, con un contexto establecido y que llama a la acción, recorreré las propuestas de Andrew Feenberg en “Transformar la tecnología” como alternativas para la generación de herramientas propias, o como dice este autor, de un código técnico, que nos permita ir más allá en la búsqueda de soluciones a la crisis en que estamos inmersos.

Además y con el fin de aterrizar los conceptos estudiados y como éstos se reflejan en la ingeniería, analizaré un caso de ingeniería andina que nos permita reforzar las críticas a la ingeniería tecnocrática y sesgada. El estudio de esta ingeniería alternativa muestra cómo es posible el desarrollo de tecnologías que

¹³ Este ejemplo simplifica enormemente los impactos ligados a una intervención técnica pero ilustra de buena manera la diferencia entre un acto técnico y otro tipo de solución. Preguntas como: ¿Cómo afecta el uso de una embarcación al entorno humano y natural? y ¿Cómo afecta el puente al mismo entorno? Deberían hacerse a la par de cualquier intervención.

rompen con todo paradigma occidental alzándose como formas nuevas de plantear progreso.

Definiciones de ingeniería

Para comenzar una discusión sobre cómo considerar la ingeniería es necesario primero repasar algunas de las propuestas de definición existentes. Este ejercicio es importante dado que permite hacerse de un panorama más amplio respecto a lo que se considera en la actualidad y por lo tanto, es usado en la variedad de ámbitos en los que la disciplina se desempeña.

La ABET¹⁴, en 1986, definió la ingeniería: “como la profesión en donde el conocimiento de las ciencias naturales y la matemática, ganada a través del estudio, experiencia y práctica, es aplicada con juicio para desarrollar formas de utilizar económicamente los materiales y fuerzas de la naturaleza en beneficio de la humanidad.”¹⁵

En base a esa definición, Paul Wright, en su libro “Introducción a la Ingeniería”¹⁶ hace un análisis enfocándose en una serie de puntos que me gustaría comentar ya que se plantean como un elemento constitutivo de lo que se enseña como ingeniería dado que la definición se enmarca en un libro pensado como introducción de los conceptos básicos que permitirán guiar el desarrollo de futuros ingenieros. Entonces ¿Qué nos dice la definición y el comentario de Wright?

En primera instancia contrapone la labor de la ingeniería con la ciencia. Argumenta que ambas disciplinas requieren un amplio conocimiento en ciencias naturales y matemáticas pero que la ciencia utiliza este conocimiento para la obtención de más conocimiento, en cambio, en la ingeniería, el conocimiento adquirido se aplica en el diseño e implementación de herramientas, estructuras y procesos que permite, de este modo, la concreción del desarrollo científico. Este argumento establece una gran diferencia entre ambas disciplinas ya que genera una relación de implicancia tal que la ciencia descubre y luego la ingeniería aplica o, dicho de otra forma, trae a tierra el conocimiento adquirido mediante la indagación. Desde esa contraposición se desprende otro elemento que distingue a la ciencia de la ingeniería: la ingeniería es un saber intrínsecamente práctico. Es necesario, para su avance, la aplicación y evaluación de cualquier diseño ingenieril, ya que al posicionarse en un contexto, impacta en él y de esa interacción surge la posibilidad de crecimiento en el diseño, por lo tanto, la experiencia adquirida es un factor tan significativo como el trasfondo teórico de una propuesta. Este argumento se enfrenta al desarrollo científico en el sentido de que la ciencia genera contenido que no necesariamente es aplicable de forma directa, pero pese a ese hecho, y por sus características propias, es posible seguir el desarrollo de conocimiento a partir de lo propuesto.

El análisis de Wright se aproxima a la idea recién enunciada mediante un enlace entre la ingeniería y el arte. Postula que la disciplina es “percibida como una representación de principios, métodos y habilidades que no solo se adquieren mediante el estudio, sino que, al menos en parte, mediante la experiencia y la

¹⁴ *Accreditation Board for Engineering and Technology*

¹⁵ WRIGHT (2002, p21)

¹⁶ WRIGHT (2002)

práctica profesional”¹⁷. La idea es clara en cuanto la ingeniería es un saber aplicado y por lo tanto requiere de un entrenamiento en la ejecución misma. Dicho en otras palabras: la ingeniería, como el arte, se cultiva en el trabajo constante y no existe si no se aplica. No se detiene en el resultado ya que una vez logrado, se transforma en experiencia que nutre cualquier trabajo futuro. Un segundo elemento clave en esta relación con el arte, que Wright no declara, y creo importante en la búsqueda ingenieril, es la creatividad como motor innovador ya que a partir de la teoría y la experiencia se pueden construir propuestas novedosas, pero si la creatividad no cumple un rol mediador en ese trabajo, las propuestas no lograrán trascender más allá de lo evidente ya que no es suficiente el reordenamiento de los factores, sino que es necesario un replanteamiento y una reestructuración de estos.

El análisis continúa con un par de elementos de la ingeniería que son parte fundamental del desarrollo de esta: la toma de decisiones frente a diversas variables en busca de una solución óptima y el uso y conservación tanto de recursos naturales como de tipos de energía acoplado a la labor de buscar y desarrollar nuevos materiales y fuentes energéticas. Lo primero lo desarrolla en el entorno de que un ingeniero debe tomar decisiones frente a variables en conflicto, en función del juicio propio y la experiencia, ya que una solución ideal nunca se podrá aplicar de manera directa a un problema. Lo segundo lo relaciona con el entendimiento de las restricciones y las posibilidades para resolver cada problema y de la siempre creciente necesidad de nuevas soluciones. La reflexión sobre estos tópicos gravita en torno a las necesidades de la disciplina y sobre eso no hay cuestionamiento ya que se estructuran como el núcleo central de los aspectos técnicos de la ingeniería. Pese a esto, me gustaría mencionar algo que creo importante: que estos puntos estructuren el núcleo técnico de la ingeniería no implica que son verdades de por sí. La toma de decisiones con variables en conflicto o en entornos complejos es una habilidad muy útil, pero carga también con un fuerte peso al criterio de quien toma esa decisión. El conflicto que se genera es ético en el sentido de que se debe cuestionar siempre qué valores se acentúan o dejan de lado al considerar una variable frente a la otra. Es el foco a donde se dirige la resolución de un problema el que se debe plantear con claridad y de manera ética, y luego, sobre esa base, es donde las habilidades técnicas de un ingeniero dan fruto.

En Ética para ingenieros¹⁸, se proponen definir la ingeniería desde el punto de vista de una profesión, que, como tal, cumple un rol sustancial en la sociedad. Si se pregunta por sus aportes, se descubrirá la necesidad que da origen la profesión y por lo tanto se entenderá el porqué de ésta. Esta tarea es compleja cuando se enfrenta a la gran variedad de ámbitos en los que la ingeniería, en sus distintas ramas, se desenvuelve ya que de alguna u otra forma la ingeniería permea en gran parte de los ámbitos relacionados a la sociedad.

Esta aproximación tiene un matiz social más marcado que la propuesta por la ABET y el comentario de Wright, ya que sitúan la profesión del ingeniero en el seno mismo de la sociedad: es ahí donde se desenvuelve y su trabajo toma sentido. En primera instancia se relaciona la ingeniería con el desarrollo económico en el sentido de que es ésta, por medio del desarrollo tecnológico, quien hace posible la concreción del avance científico, siempre y cuando exista un “entorno legal, socio-político, educativo, cultural y económico que permita y premie esas actividades

¹⁷ WRIGHT (2002, p22)

¹⁸ BILBAO (2006)

innovadoras”¹⁹. Al considerar esto se hace evidente el punto que refuerzan los autores: “El papel específico de los ingenieros no estará normalmente en el logro de avances científicos o en la concepción de nuevas ideas. Estará más cerca de los que hacen posible la incorporación de esos avances o ideas o de las invenciones en general a los bienes o servicios que la sociedad busque o necesite, proyectos pequeños o grandes que afecten a la sociedad.”²⁰ A partir de ese punto, los autores asocian la ingeniería con la posibilidad de generar mejoras sociales a través de medios técnicos argumentando que la disciplina se alza como un vínculo entre las ciencias y el mundo industrial y económico. Por medio del conocimiento aplicado en la ingeniería, muchas otras profesiones han visto avances significativos a lo largo de los últimos siglos: la medicina, el transporte o la generación de energía por ejemplo, resultando con esto un vínculo estrecho entre las necesidades sociales y la labor de la profesión. El argumento abre un conflicto con un fuerte trasfondo ético: si la ingeniería tiene un vínculo que la determina como una profesión que genera respuestas técnicas a problemáticas sociales, no existe por sí sola, pues necesita de un entorno que guíe su actuar, entonces, promoverá el bienestar social siempre y cuando no apunte a aumentar las brechas sociales y tecnológicas existentes. En palabras de los autores, ahondando en el rol de la ingeniería en el aumento de las brechas: “¿Juegan aquí algún papel los ingenieros? La ingeniería es una herramienta poderosa que contribuye a aumentar los efectos de las tendencias sociales. En una sociedad así organizada, con tendencia a agrandar esas brechas, la ingeniería colabora, directa o indirectamente, a empeorar la situación. Si una minoría de la población mundial maneja la mayoría de los recursos técnicos, la ingeniería, si no se plantea explícitamente, servirá a los intereses de esa minoría más que a los de la mayoría”²¹.

Vemos aquí una definición de la ingeniería enfocada no en los aspectos técnicos y relacionados al conocimiento de la disciplina, sino más bien en el cómo estos son transferidos a la sociedad mediante la implementación de soluciones técnicas. El punto clave que quiero enfatizar con lo propuesto en *Ética para ingenieros* es que la ingeniería está definida principalmente por el entorno en el cual se desenvuelve. Es un instrumento en manos de la sociedad y su capacidad técnica implica la posibilidad constante de transformar el mundo mediante los instrumentos que la misma disciplina genera, entonces, la ingeniería se transforma en un vínculo significativo entre la ciencia y la sociedad, determinando con este enlace la dirección que toma la transformación mediante medios tecnológicos del entorno social y natural, por lo tanto, está a merced del cuestionamiento ético que guía esa dirección: ¿Está la ingeniería contribuyendo al bienestar? ¿O está empujando hacia la perpetuación de las brechas mencionadas anteriormente?

Finalmente, a partir de las definiciones estudiadas emergen tres puntos de importancia: 1. La ingeniería es sostenida por el conocimiento técnico, la experiencia acumulada en su historia y por el juicio de quien la ejerce. 2. La ingeniería tiene su origen en las necesidades de la sociedad. Es ésta la que le da sentido y finalidad. Y 3. La ingeniería, como intervención técnica tiene el potencial de cambiar la sociedad. Para bien o para mal.

¹⁹ BILBAO (2006, p37) Énfasis del autor.

²⁰ BILBAO (2006, p37)

²¹ BILBAO (2006, p40)

Un método de la ingeniería

En *Definition of the Engineering Method*²², Billy Koen propone una definición de ingeniería a partir del cómo se resuelve un problema concreto argumentando que un ingeniero no se define según lo que produce; un ingeniero químico no es lo que es por producir químicos y un ingeniero civil no es lo que es por diseñar puentes, carreteras y otras estructuras. Un ingeniero se define entonces por cómo diseña y lleva a cabo los proyectos que emprende, por lo tanto, el método es lo que define al ingeniero.

Su relato comienza con una definición simple del método ingenieril: “La estrategia que causa el *mejor cambio*, con los *recursos* disponibles, en una situación *incierta* o pobremente entendida.”²³ Luego propone una serie de aclaraciones a cuatro conceptos claves en su definición: cambio, *lo mejor*, recursos e incertidumbre. Los primeros tres son desarrollados mientras que *incertidumbre* es declarado como un elemento transversal a cualquier problema de ingeniería ya que si no existiera las búsquedas no tendrían sentido alguno.

Sobre *cambio* declara que la ingeniería está constantemente en proceso de producirlo, se busca transformar el entorno desde un estado A a otro distinto B con un fin específico. El problema surge aquí en que ese estado B no está completamente definido, es incierto, según tres puntos: 1. El estado B no está completamente definido, el ingeniero no conoce la realidad que generará una vez llegue a ese estado; 2. El camino desde A hacia B no está definido completamente, existen una infinidad de posibilidades distintas para generar esa transformación y es labor de quien dirige ese esfuerzo definir cuál representa mejor sus intereses y 3. El estado B tiende a cambiar en el tiempo, lo que en un comienzo de un proyecto se definió como la solución esperada, probablemente cambie a lo largo de su ejecución debido a las innumerables situaciones que se puedan dar.

Sobre *recursos* el autor comenta que son estos los que definen y restringen un problema de ingeniería. Vimos que existen una infinidad de posibilidades para llegar desde un estado A a otro distinto B, pero son los recursos disponibles los que influenciarán en la decisión de cual elegir. El autor aclara este punto con el siguiente argumento: “En vez de buscar *la* respuesta a un problema; como hace el científico, el ingeniero busca *una* respuesta al problema que sea consistente con los recursos a su disposición.”²⁴

Finalmente el autor comenta sobre *lo mejor* en base a dos elementos clave: lo que la sociedad, en la que una solución está inmersa, considera mejor y lo que el ingeniero, con su conocimiento técnico considera óptimo. El diálogo entre estos dos elementos genera las soluciones que teóricamente representan lo mejor para una sociedad dada. De ella surgen las necesidades y, a partir del conocimiento y criterio subjetivo del ingeniero, estas son adecuadas para generar la solución esperada. En palabras del autor: “En teoría, *lo mejor* para un ingeniero resulta de la manipulación de lo que la sociedad percibe como real al incluir consideraciones subjetivas adicionales, sólo conocidas por el ingeniero que construye el modelo. En esencia, el ingeniero crea lo que él piensa que una sociedad informada desearía basado en su

²² KOEN (1985)

²³ KOEN (1985, p10)

²⁴ KOEN (1985, p14)

conocimiento de lo que una sociedad no-informada piensa.”²⁵ Este argumento circula en torno al mismo problema ético que aparece en los cuestionamientos encontrados en *Ética para ingenieros*, si se considera de esta forma el criterio subjetivo del ingeniero, ¿Cómo asegurar que su criterio representa realmente el bien común?

Una vez aclarados los conceptos que estructuran, en parte, el método de la ingeniería propuesto, el autor avanza hacia la concreción de éste mediante una explicación del cómo funciona. Introduce, en primera instancia, la *heurística* como la herramienta principal en cualquier búsqueda ingenieril, dado que ésta se plantea como un una guía en la resolución de un problema. No implica un camino seguro hacia dicha solución, sino una serie de acciones que permitan encaminar la búsqueda hacia una solución adecuada a los criterios fijados con anterioridad. La importancia del uso de heurísticas en ingeniería radica, según el autor, en 4 elementos de ésta que la definen como herramienta: 1. La heurística no garantiza una solución de la misma manera que una ley científica pretende representar la verdad sobre un fenómeno. El uso de una heurística permite aproximarse a una solución plausible que sólo será válida si es capaz de responder a los criterios impuestos. 2. Pueden contradecirse entre ellas ya que al no ser una solución garantizada, el uso de una heurística para un problema dado puede diferir del resultado originado desde otra heurística para el mismo problema. Nuevamente el criterio de quien resuelve el problema y la solución esperada determinan qué herramienta se utilizará. 3. Reducen el tiempo en el que un problema se soluciona ya que, como se mencionó anteriormente, sirven de guía en la búsqueda de una solución y 4. Su aceptación depende del contexto inmediato más que sobre un estándar absoluto.

Éste último punto sirve de vínculo con lo propuesto sobre la delimitación del problema de ingeniería. Si se considera que no existe una solución absoluta, o ideal, para cualquier problema en donde se recurra a la ingeniería, la heurística es entonces la herramienta perfecta para encontrar una solución ya que permitirá abordar de manera compleja el problema, considerándolo no solo en sus aspectos técnicos sino que también en su contexto y en función de los criterios impuestos sobre éste. El argumento planteado es reforzado por el autor comentando que la ingeniería no recurre ocasionalmente a una heurística para la resolución de un problema particular, sino que el uso de heurísticas es una identidad con el método de la ingeniería. En palabras del autor: “La ingeniería no tiene indicios sobre lo absoluto, lo determinado, lo garantizado o la verdad. En su lugar huele a lo incierto, lo provisional y lo dudoso. El ingeniero instintivamente reconoce esto y *hace lo mejor que puede con lo que tiene a disposición*.”²⁶

Finalmente, el autor definirá el método de la ingeniería a partir del concepto de *State-of-the-art* o *sota*. Este concepto hace referencia al conjunto de heurísticas que utiliza un ingeniero para la resolución de un problema dado. Este set viene determinado completamente por las restricciones del problema en cuanto al cambio esperado, los recursos necesarios y el bien que espera provocar, además de contener en sí la evolución de la *sota* respectiva y la transmisión de ésta a lo largo de la historia. Sobre la evolución de la *sota* el autor se refiere a como un problema dado, por ejemplo, el automóvil y sus antepasados, las carretas, contienen en sí el avance de la técnica en cuanto a cómo se ha dado solución al problema de generar movimiento y control. Si un ingeniero actual se dispone a diseñar un auto, no

²⁵ KOEN (1985, p17)

²⁶ KOEN (1985, p28)

recurrirá necesariamente a los diseños de las primeras carretas o las primeras ruedas ya que lo que en esos tiempos fue conflicto ahora está solucionado, sino que recurrirá directamente a sus referentes contemporáneos y cómo éstos resuelven un problema similar al suyo. A esto se enlaza la idea de la transmisión de la *sota* a lo largo de la historia mediante la relación maestro-aprendiz, los textos y manuales.

Con esos dos elementos, sumados a lo ya desarrollado, se estructura el *estado del arte (sota)* de cualquier diseño ingenieril y por lo tanto, lo que resume, según el autor, la regla que define el método de la ingeniería es “elegir para cada instancia la heurística que, según mi *sota* propia, representa la *sota* de la mejor práctica ingenieril para el momento en el que debo tomar la decisión.”²⁷ Esta declaración alberga una fuerte dependencia del contexto en donde se aplica la ingeniería junto al criterio propio de quien resuelve. Esto no resulta problemático cuando son declarados los principios que rigen el actuar de un ingeniero ético y consciente de su entorno social y natural, pero como veremos, esos principios no han sido declarados o peor aún, han sido cambiados por una neutralidad inexistente.

Habermas y la conciencia tecnocrática

En el ensayo *Ciencia y técnica como “ideología”*²⁸, Jürgen Habermas plantea un problema social profundo latente en las sociedades capitalistas modernas: la creciente absorción de las relaciones de interacción, entendidas como la comunicación entre individuos y la intersubjetividad que se forma en ese diálogo, por los sistemas racionales para fines y sus necesidades y respuestas empíricas. O dicho en otras palabras, plantea la creciente *cientificación* de las relaciones sociales, imponiendo la racionalidad científica: positiva y funcional, frente a las verdades que emergen del diálogo en base a valores alternativos a los impulsados por el progreso occidental.

El autor denuncia como a lo largo del origen, desarrollo y asentamiento del progreso tecnocientífico, se ha suplantado el potencial emancipatorio de una comunicación libre de dominio, proveniente de las normas sociales originadas en la interacción, por una ampliación cada vez mayor de nuestro poder de disposición técnico, es decir, por la conquista positivista y tecnocientífica de los espacios estructurados en torno a las relaciones humanas por las leyes y conceptos de la ciencia empírica.

En primera instancia define dos tipos de acción que delimitan dos estructuras fundamentales en el funcionamiento de la sociedad. La *acción comunicativa* genera normas intersubjetivamente válidas, luego, en base a un código común, da forma a un marco institucional que sustenta el conjunto de interacciones de este tipo. El marco construido de manera colectiva y en base a valores comunes es lo que le da forma y contorno a la sociedad. Por el otro lado, las *acciones racionales para un fin* forman un subsistema que permite la ampliación progresiva de los medios productivos y nuestra capacidad de intervención técnica en el ambiente.

En palabras más simples se podría decir que el marco institucional representa la cultura y la red de valores que se forma a partir del entendimiento entre individuos o grupos de éstos. El marco institucional representa, en contraposición a los subsistemas de acción racional para un fin, los acuerdos sociales que no tienen un

²⁷ KOEN (1985, p47)

²⁸ HABERMAS (2010)

carácter cuantificable, universal o *empíricamente correcto*. Luego, los subsistemas de acción racional corresponden a los medios técnicos que permiten a una sociedad la ampliación de sus capacidades en el entorno que habitan. Representan las reglas técnicas, los medios de producción y las formas relacionadas con el conocimiento empírico del mundo y la capacidad de modificarlo.

La idea de que los subsistemas de acción racional han suplantado progresivamente, con sus metas, valores y leyes, a las normas construidas intersubjetivamente es lo que Habermas ha denominado una conciencia tecnocrática. Los ideales de progreso tecnocientífico occidental se posicionaron, mediante un proceso histórico de transformaciones sociales, en los únicos valores “viables” para el desarrollo occidental. Este proceso histórico, según comenta el autor, se remonta a mediados del siglo XIX en su origen y al siglo XX en su asentamiento. Pero antes incluso de las revoluciones científicas la sociedad occidental vivió una serie de cambios que encaminarían la paulatina suplantación de sus principios, de entre ellos Habermas distingue un primer quiebre importante en el paso de lo que él denomina una *sociedad tradicional* hacia una *sociedad moderna*.

Primero define una *sociedad tradicional* en base a tres características: 1. La existencia de un poder central distinto a las relaciones de parentesco (un rey, por ejemplo), 2. La división de la sociedad en clases socioeconómicas y 3. El hecho de que está en rigor alguna cosmovisión central que cumple la función de legitimar las relaciones de dominio (una religión imperial, por ejemplo). Junto a esas características, las sociedades tradicionales deben su existencia y funcionamiento a una técnica relativamente desarrollada que les permite saciar sus necesidades, generando un excedente y un problema ligado a ese mismo hecho: la distribución desigual de la riqueza y el trabajo. Este panorama estable, precapitalista, preindustrial y premoderno sustenta un marco institucional con un carácter superior frente a los subsistemas de acción racional. La técnica provee las herramientas para mantener en funcionamiento la sociedad tradicional, pero se posiciona por debajo del marco institucional al no ser capaz de contradecir ni atacar ningún elemento de éste. El marco se alza, entonces, como un aparato incuestionable basado en principios míticos, religiosos o metafísicos que permiten el desarrollo de los medios productivos sólo si se mantienen dentro de los límites de la eficacia legitimadora de las tradiciones culturales. Es decir, no existía técnica que contradijera los principios culturales de la época, como por ejemplo, la soberanía de dios y su control sobre el entorno natural, ya que de hacerlo estaría fuera de los límites legitimadores del marco institucional. Existía, entonces, una sociedad que organizaba su funcionamiento en un marco institucional que legitima el dominio en base a una distorsión de la comunicación y una “inmunidad” de éste frente a los avances del progreso técnico.

Es en ese contexto en el que surgen los medios de producción capitalista. Éstos dotan al sistema económico de un motor de crecimiento constante, permitiendo así, la expansión permanente de los subsistemas de acción racional hasta el punto de que éstos son capaces de cuestionar, e incluso destruir, la estructura construida por el marco institucional tradicional. Ésta nueva fuerza productiva delimitará el umbral entre una sociedad *tradicional* y una en *proceso de modernización*.²⁹

²⁹ HABERMAS (2010, p72 y ss)

Con la progresiva desintegración de las cosmovisiones que sustentaban el mundo tradicional, la sociedad en proceso de modernización necesita una nueva forma de legitimar el dominio si desea mantener su estructura jerárquica. El problema asociado al excedente en la producción y la injusta distribución de éste vuelve a ser evidente cuando el mito legitimador es cuestionado por los medios productivos capitalistas, luego, el modo capitalista, para subsistir, presentará una nueva solución al problema: Al no ser válida la legitimación “desde arriba”, sustentada por el poder central y su mito unificador, las mismas fuerzas productivas y las dinámicas que se genera entre individuos e instituciones, proporcionarán una legitimación “desde abajo” que permita mantener el orden social. Se genera entonces la institución del libre mercado, que acoge a privilegiados como desprivilegiados en el intercambio privado, permitiendo a los primeros, poseedores de mercancías y propiedades, intercambiar sus posesiones con los segundos que sólo disponen de su fuerza de trabajo.

Este nuevo modelo promete, a quienes participan de él, la justicia que debería emerger de la equivalencia en las relaciones de intercambio, y conserva, de manera distorsionada, las relaciones recíprocas antes enmarcadas en la interacción y ahora entendidas como una relación práctica. Si el dominio antes era legitimado, o aceptado en general, por una norma social, por ejemplo, un designio divino, ahora es aceptado como una relación fin-medio: se entenderá como justo el intercambio de la propiedad privada (mercancías, recursos) por la fuerza laboral del desposeído.³⁰

Para mediados del siglo XIX, la constelación entre el marco institucional y los subsistemas de acción racional estructurados por el capitalismo liberal comenzaron a desmoronarse. Las crisis propias de un sistema económico abandonado a sí mismo por la promesa de autorregulación, dejó en manifiesto lo que la nueva legitimación del dominio ocultó en su ideología liberal: la violencia social inherente a la relación de trabajo asalariado. Como respuesta a esta crisis, surgen dos tendencias que generarían un cambio significativo en cómo se legitima el dominio en la sociedad moderna: La creciente intervención del estado en el sistema económico a fin de estabilizar los desperfectos de éste y la fuerte, y nueva, interdependencia entre la ciencia y la técnica convertidas en la principal fuerza productiva.

Con el desmoronamiento de la ideología proveniente del medio productivo capitalista y su libre mercado, el dominio político nuevamente requiere de una legitimación. Ya no es válida la idea de una sociedad autónoma y autorregulada, en el sentido económico y productivo vaticinado por el capitalismo liberal, como tampoco es válido un medio legitimador basado en el dominio político del mundo precapitalista; los mitos explicativos del orden social quedaron impotentes luego del libre mercado.

El nuevo capitalismo regulado por el Estado y su sistema de dominación en términos de democracia formal, reemplazará la ideología del intercambio privado por un programa sustitutorio, basado en las compensaciones sociales, frente a los desperfectos del mercado liberal³¹. Esta nueva ideología posiciona el rendimiento personal como el motor de progreso al tiempo de que mantiene las estructuras de dominación intactas. El estado ahora provee un sistema estable donde los individuos, en función de su rendimiento personal buscan su promoción en la jerarquía social. Ésta estructura coarta el capitalismo desenfrenado de la

³⁰ HABERMAS (2010)

³¹ HABERMAS (2010, p80 y ss)

competencia, pero asegura una estabilidad del sistema que logra mantener en línea a la masa de la población.

Lo propuesto implica una transferencia de la política desde un ámbito práctico, enfocado en la realización de fines que apunten a una “vida feliz”, hacia una política enfocada en la resolución de problemas técnicos, dirigidos a la prevención de las disfuncionalidades del sistema económico, asegurando su estabilidad y crecimiento. Implicancia que deriva en una política que excluye las cuestiones prácticas del dominio público, ya que considera que en la solución de tareas técnicas, el sometimiento de éstas al escrutinio público sólo genera atochamiento en cuanto el aparato estatal es más “apto” para la resolución de problemas de esa índole.

La inconsistencia de ésta nueva política abocada a las tareas técnicas es que hace caso omiso a la necesidad de la sociedad de estructurar su marco institucional en base a las relaciones de interacción y a la comunicación libre de dominio. El programa sustitutorio se enfrenta, entonces, al problema de legitimar su dominio político bajo un argumento que no resulta evidente a primera instancia, pero que por medio de una conciencia tecnocrática es capaz de esconder el problema “bajo la alfombra” en vez de resolverlo.

El posicionamiento de la ciencia y la técnica como el motor productivo de la sociedad moderna, junto a su eficacia en la resolución de necesidades funcionales y su capacidad para dar sustento a un progreso económico explosivo, sirvió de sustrato para que el progreso técnico, antes delimitado por el marco institucional tradicional, tome un rumbo autónomo que le permita responder adecuadamente a las necesidades propias de un aparato estatal basado en las compensaciones y la estabilidad del sistema.

Con esta unión, queda ligado el progreso social con el progreso tecnocientífico. Se puede reemplazar, del primero, la necesidad de relaciones de interacción, mediadas por el lenguaje ordinario y libre de dominación, que generan las normas y acuerdos rectores del progreso social por tecnologías y procedimientos propios del progreso tecnocientífico. El programa sustitutorio despolitiza a la población al asegurar que los asuntos sociales son problemas técnicos y deben ser resueltos por un aparato posicionado sobre la discusión pública. Además, la conciencia tecnocrática naturaliza esa idea al asegurar que el progreso científico y técnico es capaz de saciar las necesidades funcionales del hombre y, como consecuencia, avanzar hacia un estado de bienestar tecnológico. En vez de encaminar el avance de la sociedad bajo criterios socialmente aceptados, dejamos la dirección del progreso en manos de la tecnología, la ciencia y sus técnicos.

La conciencia tecnocrática no soluciona el problema de una sociedad que se hace a sí misma a partir del diálogo y la interacción. No genera espacios comunicativos libres de distorsiones en donde los participantes se enfrentan como iguales y, por ende, son capaces de generar normas intersubjetivamente válidas. La conciencia tecnocrática oculta esta necesidad bajo la nube del progreso tecnocientífico, de las gratificaciones y la estabilidad material provenientes de las compensaciones de un sistema económico fundamentalmente desigual. Mantiene una población despolitizada e ignorante de cómo el aparato se mantiene a flote, población que considera natural el delegar la participación política a manos de quienes aseguran ser expertos, como si el bienestar social proviniera de una fórmula y no del común acuerdo entre iguales. Población que observa, impávida, desde la base material del progreso tecnológico y la estabilidad asegurada por el programa

sustitutorio como, pese a tener la capacidad productiva y económica para eliminar cualquier brecha, existe un porcentaje no marginal de la población sin acceso a comida, agua, educación, salud, trabajo y un largo y doloroso etc.

Es este el panorama en el que cuestiono a la ingeniería, ¿Qué rol ha cumplido en este proceso de cientificación del mundo?, ¿Es la tecnología desarrollada por el saber de la ingeniería culpable del avance avasallador de la conciencia tecnocrática? ¿Qué se puede hacer? Una alternativa frente al panorama descrito por Habermas es el desarrollo de tecnologías, o ingeniería, fuera del paradigma tecnocrático. Es avanzar hacia la concreción de un progreso ligado a las necesidades sociales enmarcadas en su contexto, a la búsqueda de valores alternativos a los propuestos por la tecnociencia o a una apertura de éstos. Es, en parte, permitir que la tecnología y la ciencia sean guiadas por un consenso social, libre e igualitario y no permitir que la tecnocracia determine cuál es el progreso a seguir.

Hasta ahora, hemos recorrimos definiciones de lo que se entiende por ingeniería y una propuesta de cómo es y cómo se sustenta su método. A partir de esas reflexiones, surge la idea, enunciada por todos los autores citados, de que el juicio del ingeniero, junto a su experiencia y conocimiento, son piezas clave en cómo se concibe, desarrolla e implementa cualquier solución ligada a la disciplina. A partir de ahí, nace un dilema ético que quedó enunciado antes de comenzar la línea argumental de Habermas: ¿Cómo asegurar que el juicio del ingeniero representa, realmente, el bien común? Con la *crítica a la ciencia y técnica como ideología* no nos acercamos a la respuesta definitiva a esta pregunta, pero si nos es posible entender el complejo contexto, e historia, que contiene este problema ético.

Si me cuestiono, como ingeniero, sobre mi juicio respecto a la búsqueda de un bien común, no podría asegurar que éste no viene influenciado, o moldeado, por la conciencia tecnocrática. Entonces, la opción para responder positivamente a ese dilema ético radica, primero, es plantear mi juicio de manera crítica, con el fin de poder identificar y luego cuestionar, el conocimiento adquirido y las decisiones que tomo a partir de él. De hacerlo así, es posible superar la conciencia tecnocrática y plantear soluciones que apunten, genuinamente, hacia un bien común.

Feenberg y la teoría crítica de la tecnología.

En la sección anterior, vimos cómo opera un sistema basado en una conciencia tecnocrática que saca de la discusión pública la necesidad de replantear los valores y fines que guían el avance técnico y científico. Este sesgo genera una sociedad en donde las relaciones recíprocas son reemplazadas por funciones fin/medio, perpetradoras de un modelo dominador dado que éste mantiene una población ignorante del potencial emancipatorio propio de una tecnología guiada por normas intersubjetivamente válidas. Modelo que propone, en vez de eso, una base de conformidad material que invita a la pasividad política al sostenerse en un proyecto compensatorio, donde el ciudadano vela por sus intereses privados frente a la posibilidad de una reestructuración del modelo mediante la cooperación y el diálogo entre iguales.

Considerando el acelerado progreso de la tecnología, su irrupción en las relaciones sociales y la profunda transformación que significó esto para la sociedad, ¿Cuán válidos son los argumentos de Habermas? Con el surgimiento de la computadora y posteriormente del *internet*, los saltos que han liderado la ciencia y la

tecnología parecen no tener control ni seguir algún eje en particular. Los potenciales que abrió el uso de la computadora en la mayoría de los ámbitos del quehacer humano, el creciente poder de procesamiento de datos y la capacidad de computarlos a escalas cada vez mayores, parecen hacer reales los peores miedos de Habermas en su análisis; ¿Son las nuevas tecnologías productos de un modelo que mantiene y amplía sus sistemas de control? La respuesta es ambigua, la computadora tiene el potencial de generar una sociedad basada en datos y tendencias, en el análisis cuantitativo de nuestro día a día y en consecuencia tiene la posibilidad de seguir ampliando el avance absorbente de los subsistemas de acción racional. Pero a la vez, el *internet* alberga posibilidades de comunicación entre personas nunca antes explorados, al alcance de *un click* puedo compartir mi opinión con una infinidad de otros participantes, puedo enterarme de lo que sucede en el otro lado del globo y en consecuencia, se pueden organizar movimientos capaces de dar fuerza a la racionalización del marco institucional, es decir, del entendimiento colectivo respecto a cómo queremos que progrese el desarrollo humano, desafío que implicaría la posibilidad de una comunicación libre de dominio.

El enfoque de Habermas impulsa a la búsqueda de espacios emancipatorios ligados a la comunicación mediada por el lenguaje, búsqueda que definitivamente hace falta en nuestro siglo que parece explotar en su crecimiento tecnológico fuera de control. Su enfoque nos permite plantear un nuevo horizonte en cuanto a lo que queremos lograr como civilización, pero no nos permite ubicar la técnica en ese nuevo marco institucional. Sin lugar a dudas, si somos capaces de replantear los valores rectores de nuestro progreso, será necesario rediseñar los soportes de nuestro progreso técnico porque, como mencioné anteriormente, si queremos construir un futuro distinto debemos primero generar las herramientas que nos permitan darle forma.

Andrew Feenberg, en Transformar la tecnología³² propone una serie de elementos que permiten rediseñar o recontextualizar la tecnología con el fin de que a través de ella se alcance el potencial emancipador que alberga. Su análisis se basa en el sesgo propio del modelo capitalista y como éste captura la tecnología, enfocando su avance de modo tal que es capaz de legitimar y, con esto, ampliar el sistema de dominación. Plantea la necesidad de una teoría crítica de la tecnología, que permita cuestionar y reformar su proceso generativo, logrando así la concreción de una tecnociencia sucesora.

Antes de ahondar en las proposiciones de Feenberg, es necesario definir los conceptos y enmarcar las ideas que servirán como sustrato más adelante. El autor define el *código técnico* y el *sesgo formal*, dos conceptos que tienen vital importancia en el entendimiento de cómo proponer una técnica sucesora. Junto a éstos, Feenberg desarrolla el proceso de generación de una tecnología que nos permitirá contextualizar cómo opera el aparato de generación tecnológica bajo el código del capitalismo y cómo podría estructurarse si se plantea un código técnico distinto.

El *código técnico* es definido como los requerimientos capitalistas, técnicos y sociales, condensados en un *régimen de verdad*, que permite que “la construcción y la interpretación de los sistemas técnicos estén en conformidad con los requerimientos de un sistema de dominación”.³³ El concepto se basa en la certeza de una hegemonía capitalista, que por medio del código técnico, es capaz de

³² FEENBERG (2012)

³³ FEENBERG (2012, p126)

legitimar el objetivo de preservar y ampliar el modelo mediante el cual se mantienen los intereses del capital. Se considera en este caso hegemonía por el hecho de que el código permite eliminar la necesidad de ser impuesto por una lucha constante entre dominados y dominantes, sino que se “reproduce irreflexivamente por las creencias y prácticas estándar de la sociedad que domina”.³⁴ El código técnico capitalista es una regla que permite la elección de alternativas técnicas con el fin de que preserve la libertad de realizar acciones similares en el futuro. Asegura el panorama que mantiene la ventaja operacional del capitalista frente al que no posee los mismos medios. En ese sentido, el código no solo delimita lo que está prohibido o permitido, sino que agrega un propósito a esta distinción, convirtiéndolas en lo que es conveniente frente a lo no conveniente. Entonces, en palabras del autor: “El código técnico tiene significación (social) ontológica en una sociedad en la que la dominación está basada en el control de la tecnología. No es meramente la regla según la cual los medios son elegidos. Mucho más que eso: es el principio de identidad organizacional y de supervivencia.”³⁵

A continuación, Feenberg introduce el proceso que permite ejemplificar cómo los aspectos sociales y técnicos del código se condensan. En él, describe el mecanismo mediante el cual se generan las *tecnologías individuales* a partir de *elementos técnicos*, organizados de una manera específica, e insertos en un contexto social. Por elementos técnicos entiende los principios específicos de la tecnología como los circuitos, la palanca o las propiedades de los materiales, ya que éstos son, en sí mismos, relativamente neutrales frente a los intereses de los grupos sociales. Estos elementos se organizan de tal forma que son el vocabulario propio de un código técnico que los entrelaza para darles nuevos significados o fines.

Las *tecnologías individuales* surgen de estos elementos descontextualizados, que al combinarse, dan como resultado un dispositivo específico. Citando al autor: “El proceso de invención no es puramente técnico: los elementos técnicos abstractos deben entrar en un contexto de restricciones sociales. Las tecnologías, [...] son más que la suma de sus partes. En la propia selección y disposición de los elementos de los que están construidas, cumplen con criterios sociales en relación con sus propósitos”.³⁶ La tecnología no es neutral, la combinación de sus elementos viene de la mano de un encaje de ésta con su entorno social, por lo tanto, es posible identificar en los dispositivos tecnológicos una dirección de intenciones conforme a ciertos intereses o valores. Tampoco se debe entender con esto que la tecnología está condicionada únicamente por sus aspectos sociales, toda invención requiere de una coherencia técnica, es decir, debe funcionar, pero este hecho, por sí solo, no determina ni el origen ni la aceptación de una tecnología específica en su contexto social. Es la relación entre ambos aspectos: *lo funcional* y *el encaje social* del dispositivo lo que le da un carácter ambivalente a la tecnología.

Para definir *sesgo formal* el autor describe primero dos usos de la palabra sesgo; 1. El sesgo entendido como una desviación de la imparcialidad, en su sentido de representar la aplicación de un estándar común sin considerar los elementos personales. Este sesgo se ve representado en la elección, por ejemplo, de un postulante a un puesto de trabajo por criterios como el género, su estrato socioeconómico o su origen étnico frente a criterios universales sobre las calificaciones o capacidades propias para el empleo. Y 2. El sesgo entendido como

³⁴ FEENBERG (2012, p124)

³⁵ FEENBERG (2012, p127)

³⁶ FEENBERG (2012, p129)

“aplicar el mismo estándar a individuos que no pueden ser comparados o bajo condiciones que favorecen a algunos en detrimento de otros”.³⁷ Por ejemplo, la prueba de selección universitaria (PSU) es una instancia sesgada en el sentido de que se aplica un criterio estándar a todos los estudiantes, sin considerar el contexto social extremadamente diferenciado del universo de alumnos que rinden la prueba. Éste uso es el que se considera como *sesgo formal*, porque son las condiciones en la cual la igualdad formal contradice el contenido social.

En el caso de una tecnología formalmente sesgada es posible identificar los elementos enunciados en la definición del código técnico y el proceso generativo de tecnologías individuales como los que constituyen el sesgo. Con esto me refiero a que el código técnico capitalista plantea el argumento de la neutralidad tecnológica al abstraerla de su contexto, ya que en efecto, si se consideran los elementos técnicos descontextualizados, éstos son relativamente neutros: las ruedas, palancas y partes de un auto no cargan valores intrínsecos, pero si se consideran como un conjunto que encaja con un contexto específico, la neutralidad de la tecnología no tiene sustento. Por lo tanto, la tecnología formalmente sesgada es aquella que se plantea neutral hacia un contexto social en base a la descontextualización de sus partes, pero, como vimos que toda tecnología se compone de elementos técnicos integrados en un contexto social, incurre en el sesgo al no identificar su intención de neutralidad como exactamente lo contrario, una declaración de valores que niegan la función social de la tecnología.

Tenemos, entonces, dos alternativas: Un código técnico formalmente sesgado. Que encuadra la tecnología en una neutralidad engañosa y que tiene la capacidad de producir tecnologías que perpetúan y amplían las instancias de dominación. Y tenemos, por el otro lado, la posibilidad de replantear el código técnico, a modo de liberar a la tecnología del sesgo formal, permitiéndole explorar espacios donde sus productos apunten hacia el desarrollo consciente de su contexto social.

Finalmente, Feenberg propone la teoría de la instrumentalización como medio para abarcar los estudios relacionados a la técnica desde una perspectiva holística. Propone que la tecnología tiene una base dialéctica negada por la aproximación capitalista. En ésta base existen dos tipos de instrumentalización³⁸: una primaria que implica una “orientación hacia la realidad”³⁹ o dicho en otras palabras, la orientación hacia el entendimiento de las condiciones naturales y culturales como un recurso que abre posibilidades de soluciones técnicas. Y una secundaria ligada a la concreción de ésta orientación en una realidad social específica y contingente. El sentido de cualquier tecnología, según la teoría de la instrumentalización, radica en el complemento de ambos procesos de instrumentalización y no sólo en el primero, como el código técnico capitalista asegura a partir de su sesgo formal. El autor ilustra esta doble instrumentalización a través de un ejemplo preciso: “La carpintería implica percibir la madera como un recurso y capturar las posibilidades que le ofrece. En un lenguaje fenomenológico, podríamos decir que el mundo se le revela al carpintero como recurso, como posibilidades. Sin esta instrumentalización primaria de la madera nadie habría pensado en hacer un serrucho, pero un serrucho no es solamente una *aplicación* de una orientación técnica hacia la madera. Antes bien, es

³⁷ FEENBERG (2012, p132)

³⁸ Se entenderá instrumentalizar como la acción de emplear como instrumento algo que no lo es en sí mismo. En éste caso, utilizar la técnica como un instrumento para un fin específico.

³⁹ FEENBERG (2012, p272)

un objeto concreto producido en una sociedad específica de acuerdo con una lógica social. Incluso hechos tan básicos del diseño del serrucho, como si cortará en el envión o en el tirón, son socialmente relativos. Para entender la forma del serrucho, su manufactura, su estatus simbólico, etcétera, necesitamos más que una teoría de la orientación técnica. Por otra parte, dicha teoría no nos dirá qué pasa con las personas cuyas vidas están dedicadas a trabajar la madera, cómo esa actividad dará forma a sus manos, sus reflejos, su lenguaje y su personalidad a modo tal que tenga sentido llamar carpintero a alguien. Todas estas son instrumentalizaciones secundarias inseparables de la esencia de la tecnología⁴⁰. El poder ilustrador del ejemplo radica en esa nueva dimensión que otorga a la carpintería. Deja de ser la profesión en torno al humano, la madera y sus herramientas específicas y se convierte en un círculo de influencias. El entorno natural y/o cultural con el humano, el humano con la técnica, la técnica con la sociedad y de vuelta al humano. El carpintero hace la carpintería tanto como ésta lo hace a él. O dicho en términos más generales y con énfasis en la interdependencia de la tecnología y la sociedad: “Uno no debería nunca tomar el sentido de un artefacto técnico o un sistema tecnológico como algo que reside en la tecnología misma, sino que uno debe estudiar como las tecnologías son formadas y adquieren su sentido en la heterogeneidad de las interacciones sociales”.⁴¹

El llamado de Feenberg es claro: es necesario recontextualizar la práctica de la técnica a modo de integrar las instrumentalizaciones secundarias. El modelo dominante se ha preocupado de mantener un modo cosificante que mantiene y amplía su libertad de acción, es fundamental, entonces, compensar el exceso de éste modelo mediante la reintegración de los sujetos y objetos técnicos en su contexto social.

Una forma de lograr esto es mediante el replanteamiento del código técnico, basado en las instrumentalizaciones secundarias, a modo de integrar en el proceso generativo de la tecnología los elementos negados por el capitalismo. Un código técnico de esta índole sería capaz de abordar problemas de fondo que, hasta ahora, no son considerados; por ejemplo, la necesidad de una capacidad industrial desproporcionada a las necesidades de sus consumidores, validada desde la perspectiva del equilibrio económico y reformada como la conservación de los modos productivos mediante una producción más limpia. ¿Resuelve el problema de la contaminación antropogénica un acuerdo de producción limpia?, ¿No será mejor replantear el por qué producimos tanto y lo distribuimos tan mal?

Como conclusión del autor: “Dado que la herencia técnica refleja los requerimientos sociales del capitalismo, ella debe ser superada. Muchas de las conexiones que actualmente las sociedades industriales tratan como externas deben ser internalizadas en tanto la tecnología se reproduce bajo la égida de un nuevo código técnico que revierta la reificación. Es por esto que la integración de los sectores social y técnico requiere más que un plan central: hará falta progreso técnico para reformar la tecnología heredada del capitalismo.”⁴² Es decir, está en las manos de los actores ligados a la tecnología, entre ellos los ingenieros, el construir un código técnico que permita trascender las lógicas capitalistas en pos de integrar en la práctica el núcleo social inherente a toda tecnología. De ser así, será posible la

⁴⁰ FEENBERG (2012, pp272-273) Énfasis del autor.

⁴¹ BIJKER (1995, p4)

⁴² FEENBERG (2012, p288)

construcción de un código técnico que guie nuestro progreso tecnológico hacia la igualdad y el bienestar.

Otra ingeniería: la renovación del puente Q'eswachaka

A continuación desarrollaré un ejemplo de ingeniería y técnica aplicadas en un contexto que rompe con las lógicas tecnocráticas occidentales. El foco de esta sección radica en la contraposición de un caso frente a lo enunciado en la crítica de Habermas y el complemento de Feenberg ya que de esta forma se hace evidente la posibilidad de impulsar prácticas ingenieriles bajo un paradigma distinto.

Antes de comenzar con la descripción del caso, introduciré algunos conceptos que surgen desde lo trabajado anteriormente y que ayudan a estructurar el modelo con el que compararemos la ingeniería Andina.

Habermas y su evolución de la conciencia tecnocrática en el tiempo posicionan a la tecnología como un elemento por sobre la sociedad. Propone una relación de dependencia de lo social frente a lo tecnológico, en el sentido de que la tecnociencia es capaz de dar solución a las necesidades sociales mediante el desarrollo tecnológico hasta el punto de que todo desarrollo social es de carácter técnico. En otras palabras, la tecnología es la que dicta el camino del progreso de manera autónoma y es la sociedad la que se adapta a dicha imposición. Ésta idea es conocida como determinismo tecnológico en los estudios relacionados a la filosofía, sociología e historia de la tecnología. El concepto “propone que la tendencia de la evolución tecnológica de lo simple a lo complejo –de la punta de piedra a la flecha, la bala y el misil nuclear– va de la mano con la complejización de las instituciones sociales, debido a las demandas impuestas a la sociedad por los sistemas tecnológicos”.⁴³

Ésta externalización de la tecnología responde directamente a un proceso histórico y contingente a un momento dado de occidente. Según Ingold⁴⁴ posicionar la tecnología en una esfera distinta de la social se correlaciona de manera directa con el surgimiento de la economía de libre mercado, argumento que resuena fuertemente con la evolución de la conciencia tecnocrática descrita anteriormente.

Un segundo elemento que permite enmarcar la forma occidental de entender la tecnología es el de la complejización progresiva y siempre ascendente de la innovación tecnológica. Este principio dice que todo desarrollo tecnológico sigue una línea de lo simple a lo complejo, alcanzando en ese avance un estado “mejor” en la resolución del problema que se busca solucionar con algún aparato o sistema. La idea se sustenta en que los valores económicos y utilitarios son los que determinan el éxito o el fracaso de una tecnología, relegando valores ligados al contexto, la significación y la capacidad de adaptación de la tecnología como elementos de segunda categoría en la evaluación de una propuesta tecnológica.

La externalidad y la complejización ascendente son dos elementos que caracterizan el desarrollo y la innovación tecnológica de nuestro modelo occidental. Con el estudio de la ingeniería andina buscaré mostrar cómo estos elementos no representan ni un ideal de progreso ni un absoluto, sino que responden sólo a las necesidades de un modelo situado en un tiempo y un lugar determinados.

⁴³ HERRERA (2011, p38)

⁴⁴ INGOLD (1997, p107-108)

Comenzaré, entonces, con la descripción del caso basándome en el micro-documental “El puente Q’eswachaka”⁴⁵ del proyecto Qhapaq Ñan del Ministerio de Cultura Peruano, para luego profundizar en las diferencias y problemáticas que surgen de la comparación entre el paradigma que guía este acto de ingeniería en contraposición al modelo occidental.

El puente Q’eswachaka se ubica en la provincia de Canas, Cuzco y atraviesa el río Apurímac a una altura de 3700 metros sobre el nivel del mar. El puente corresponde a un vestigio de la red vial, conocida como el camino del Inca para occidente, que aún se conserva en los territorios de Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y Argentina.

Una vez al año, durante las primeras semanas del mes de Junio, más de 1000 personas de las comunidades Huinchiri, Chaupibanda, Ccollana Quehue y Chococayhua, del distrito de Quehue se reúnen durante cuatro días para llevar a cabo el rito de renovación del puente.

El proceso comienza días antes de la reunión de las comunidades cuando cada familia confecciona las cuerdas de q’oya que aportarán para la renovación del puente. Los pobladores recolectan la fibra, que crece en ciertos lugares de la localidad y que cumple con los criterios de dureza y flexibilidad necesarios. Para luego dejarlas secar durante todo un día al sol, golpearlas con piedras a fin de ablandarla y finalmente remojarlas en agua. Luego de preparada la q’oya, todos los habitantes, incluidos los niños, comienzan la tarea de torsión de la fibra para la fabricación de las quechuas o cuerdas (**Ilustración 2**)⁴⁶. Este procedimiento es parte de la tradición heredada de los ancestros y corresponde a un elemento fundamental del rito. Los niños aprenden la técnica desde pequeños a fin de que sigan transmitiendo el conocimiento a las generaciones que vendrán. Por medio de común acuerdo en una asamblea, las comunidades acordaron que cada comunero debe llevar 40 brazadas (60 metros aproximadamente) de cuerda con un grosor específico, ya que de no cumplir con este criterio, el aporte no podrá ser utilizado en la renovación y el comunero deberá hacer entrega de otra cuerda.



Ilustración 2: Trenzado de la q’oya.

⁴⁵ QHAPAQ ÑAN (2014)

⁴⁶ UNESCO (2010)

El primer día de trabajo comunitario comienza con una serie de ritos y ofrendas a modo de pedir permiso a los Apus, o montañas tutelares y a la Pachamama o madre tierra. Un sacerdote andino, miembro de la comunidad, es quien lleva a cabo los ritos religiosos que permiten la faena comunitaria sin inconvenientes, ya que se considera que es este sacerdote quien tiene la capacidad de interceder a favor de la comunidad frente a las montañas y a la tierra, consideradas divinidades primordiales, para obtener su favor. El sacerdote dispone una mesa ritual (**Ilustración 3**)⁴⁷ y en ella realiza una ofrenda de ciertos productos: incienso, garbanzos, pallares, hojas de coca, maíz, grasa animal y vino. Luego, a un costado del puente se enciende una fogata en donde serán quemadas las ofrendas durante todo el día.



Ilustración 3: Mesa ritual y ofrendas.

A continuación, las quechuas aportadas por cada comunero son registradas por los encargados de cada comunidad y extendidas en el camino para ser torcidas y entrelazadas a fin de confeccionar los pasamanos y los “duros”, cuerdas de mayor grosor que sirven como estructura central del puente. Este trabajo es llevado a cabo sólo por los hombres de la comunidad, mientras que las mujeres y niños se ubican en los alrededores donde confeccionan más quechua que será utilizada cuando se teja el puente. Al final del día, los “duros” y los pasamanos son llevados a cada extremo del puente y son dejados ahí para utilizarlos al día siguiente.

El segundo día comienza con la quema de ofrendas y el sacrificio de un animal para obtener la aprobación de los Apus y la Pachamama. La faena comienza, entonces, con un comunero que atraviesa el antiguo puente llevando una quechua que servirá como medio de transporte de los insumos de lado a lado. Luego se amarran los “duros” a las estructuras de piedra incaica ubicadas en cada extremo y con estos asegurados se deja caer el puente antiguo. El proceso es guiado por dos expertos en el tejido de puentes de q’oya, conocimiento transmitido a lo largo de cientos de años por herencia familiar y de vital importancia en la confección y conservación del puente. Los duros y los pasamanos son anudados a las piedras siguiendo un procedimiento especial que asegura su permanencia y confiabilidad. En paralelo, mujeres, niños y hombres confeccionan un tapete de quechua, hojas y ramas que servirá de piso para el nuevo puente. Además, estos mismos comuneros aportarán los callapos, o palos largos, que servirán para darle estabilidad a la construcción. Finalmente, al igual que en el primer día, el tapete es dejado a los pies del puente para ser utilizado el siguiente día.

En el tercer día, luego de las ofrendas respectivas, los maestros tejedores comienzan la labor de tejido del puente (**Ilustración 4**)⁴⁸. Desde cada extremo, y auxiliados por un par de ayudantes, los tejedores avanzan metro a metro anudando quechuas entre pasamanos y duros a fin de armar el puente. La técnica, al igual que la confección de quechuas y el anudado de duros y pasamanos es parte de una tradición ancestral heredada. Los maestros tejedores comenzaron como ayudantes

⁴⁷ UNESCO (2010)

⁴⁸ UNESCO (2010)

de sus padres o parientes para luego asumir ellos la labor principal. Finalmente, una vez extendido el tapete, se da por finalizada la construcción del puente con el cruce de los 28 metros de éste por las autoridades locales.

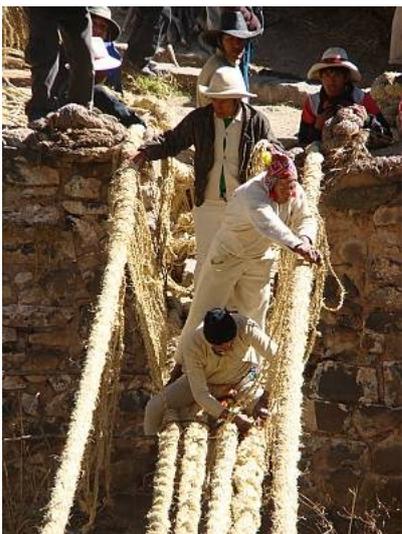


Ilustración 4: Tejido del puente

El cuarto día de faena comunitaria es destinado completamente a la celebración del trabajo realizado mediante música y danza. Las comunidades se reúnen, comen y celebran a los pies del puente los vínculos renovados.

La finalidad del rito de renovación del puente Q'eswachaka no corresponde sólo a la renovación de una conexión vial entre comunidades, sino que responde directamente a la necesidad de las comunidades de renovar los lazos que las unen, fortalecer los vínculos y mantener viva una tradición que los enlaza con su tierra y contexto.

Desde la conciencia tecnocrática resulta complejo imaginar la renovación del puente Q'eswachaka como una obra de ingeniería exitosa. En primer lugar resaltan una serie de elementos que son considerados innecesarios bajo la mirada del funcionalismo y lo utilitario. ¿Por qué usar cuerda de fibra vegetal si se puede usar fierro y cemento?, ¿Por qué pedir permiso a la montaña y la tierra? ¿Por qué renovar un puente que no tiene un uso continuo y necesario desde el punto de vista vial? Estas interrogantes, que tienen un sentido pleno en la cosmovisión andina y en el contexto antes descrito, carecen de finalidad cuando se enfrentan a las necesidades de la tecnología occidental y sus parámetros de progreso o desarrollo. La funcionalidad en términos económicos y utilitarios triunfa frente al sentido que toma la ingeniería en el contexto andino. Utilizando ahora los conceptos trabajados en esta parte, desde la vereda tecnocrática la reconstrucción del puente sólo requiere de las instrumentalizaciones primarias descritas por Feenberg: se desecha el puente antiguo, se construye uno nuevo que cumpla con los criterios de eficiencia propios del modelo occidental y se le da el uso esperado: atravesar un río.

En cambio, la ingeniería andina no sólo lleva a cabo las instrumentalizaciones primarias de descontextualizar, reducir y autonomizar los elementos de su entorno a modo de convertirlos en elementos técnicos utilizables en la construcción del puente, sino que integra al proceso las instrumentalizaciones secundarias: sistematiza (como compensación de la descontextualización) la construcción del puente al considerar no sólo la necesidad vial de las comunidades sino que también la instancia de encuentro y reforzamiento de los lazos que las unen. Media (como compensación de la reducción) al significar el acto técnico mediante la religiosidad propia y la vinculación directa con el entorno que habitan y genera vocación (como compensación a la autonomización) al integrar en la tradición y herencia ancestral los saberes técnicos ligados al acto.

La renovación del puente Q'eswachaka se alza entonces como un ejemplo de tecnología tradicional que rompe con los paradigmas de la tecnocracia. La tecnología, en este caso, no se posiciona ni fuera ni por sobre lo social, sino que se entrelaza con las comunidades y sirve de sustrato para el refuerzo de los vínculos existentes. Además, la complejización siempre ascendente del determinismo

tecnológico es contradicha cuando se considera exitoso el uso de una tecnología menos compleja (construcción con fibra vegetal) frente a las alternativas occidentales modernas. Hago énfasis en considerar exitoso el caso andino, ya que representa una alternativa real de cómo transformar la tecnología mediante su uso bajo criterios que trascienden lo meramente económico y utilitario.

Finalmente quiero agregar la imagen que deja este caso sobre cómo entender la tecnología y su relación con la sociedad. No nos encontramos frente a una tecnología que se aplica sobre un contexto cultural, que viene de afuera, desde algún lugar alejado y objetivo, sino que nos encontramos con una tecnología que nace desde el seno mismo de las interacciones sociales. Su significado radica entonces no sólo en su capacidad para dar solución a problemáticas emergentes, sino a como es capaz de integrarse en un entorno social específico y como a partir de ahí cobra sentido y genera nuevo significado. “No se trata de una simple relación entre *hardware* tecnológico y *software* cultural. La tecnología implica un conjunto de prácticas encajado en redes sociales tejidas alrededor de objetos, lugares en el paisaje y saberes culturalmente específicos. Esta definición permite enfocar los divergentes saberes y capacidades de individuos, comunidades y agencias de desarrollo, a la vez de “desfetichizar” las nociones de tecnología tejidas alrededor de técnicas u objetos científicos.”⁴⁹

El desafío entonces está en desarrollar las técnicas y tecnologías propias del entorno social que habitamos o que queremos habitar. No es suficiente la construcción de herramientas, sistemas y procesos que vengan a dar solución a la pobreza o al acceso a recursos básicos. Sino que debemos construir las herramientas, sistemas y procesos que aporten en esa vía desde el contexto específico que pretendemos transformar como ingenieros. La buena tecnología, y en este caso, la buena ingeniería radican precisamente en el centro de la acción social y su éxito viene dado no por ser vanguardia tecnocientífica o por rendir adecuadamente frente al mercado, sino que por trascender el sesgo tecnocrático y sus valores utilitaristas frente a los valores que surgen de la integración con el medio. Las comunidades de Quehue y su ingeniería andina son reflejo de como la buena ingeniería cobra sentido y fuerza cuando es capaz de integrar y crecer desde adentro y no desde afuera.

⁴⁹ HERRERA (2011, p17)

Parte II: Ingeniería y sociedad

En la primera parte, al estudiar la relación de ingeniería y técnica, o dicho de otro modo, como la ingeniería se entiende a sí misma, vimos una faceta de la disciplina que hasta el momento se declara como un elemento constitutivo, pero que en la práctica queda desarrollado en segundo plano al ocultar su real importancia frente a los elementos técnicos y científicos. Esa faceta es justamente la relación de la ingeniería con la sociedad, y cómo es esta última la que determina, como principio y como fin, el foco del saber técnico y su aplicación, en este caso, mediante la ingeniería.

Vimos, en las distintas definiciones de ingeniería, la declaración de principios sociales sintetizados en el desarrollo del bienestar social, pero, de la mano con ésta declaración, nos encontramos con problemas éticos ligados al poder que tiene un ingeniero en la sociedad tecnologizada en la que vivimos. De dejarse a criterio únicamente del profesional, las intervenciones ingenieriles pueden tener resultados que contribuyan a la crisis socioambiental y no a la superación de ésta. Con Habermas y su aguda crítica al rumbo que tomó la tecnociencia, vimos cómo esta misma colonizó los espacios que antes eran de lo social y los pobló de resultados, datos y formas de control. La predominancia de lo técnico, positivo y relacionado a fines, generó un aparato social tecnocrático capaz de emplear todos sus medios en pos de mantener el *status quo*, legitimando sus relaciones de dominio y las ventajas administrativas de los grupos privilegiados. Frente a esto, Habermas propone la revitalización, a modo de repolitización, de los espacios públicos, con el fin de generar el diálogo capaz de reconquistar y de este modo, construir, un marco institucional que trascienda las relaciones de dominación.

El llamado de Habermas es más amplio que la relación que estudiaré, pero es posible traducirla en lo competente a la ingeniería y cómo ésta plantea sus problemas: repolitizar la disciplina implica aceptar de principio que cualquier propuesta tiene una intención política, debido a que proviene de un contexto social, y su implementación en ese mismo (o en otro), repercute en él. Tanto la propuesta como el contexto son transformados en esa interacción. Por lo tanto, una ingeniería ciega a su contexto, tiene integrada en sí una decisión política y en su interacción sesgada con el entorno, reproduce en éste los principios que la rigen. En contraparte, una ingeniería que declara abiertamente su intención, hace tributo a su contexto social y en consecuencia, ambos son transformados.

A partir de ahí, enlazamos con las propuestas de Feenberg y su teoría crítica de la tecnología. El autor muestra la dialéctica de la tecnología y como el modelo dominante, el capitalista, mantiene el sesgo de la neutralidad tecnológica, reproduciendo y potenciando sólo un aspecto de la relación dialéctica. Feenberg, a diferencia de Habermas, propone la posibilidad de construir un nuevo código técnico que permita estructurar el desarrollo tecnológico en torno a principios y valores rectores distintos. Habermas postula que la técnica no puede ser transformada o superada en el sentido de *proyecto histórico*, ya que está ligada al desarrollo humano desde su origen, por lo tanto, la forma de combatir la dominación es a partir de lo dicho anteriormente: el fortalecimiento del marco institucional y las relaciones de interacción. Feenberg, considerando el desarrollo técnico desde su origen, y valorando en él los elementos tecnológicos ya desarrollados, propone que es posible la construcción de una nueva tecnología, a partir de interiorizar en la práctica la otra cara de la relación dialéctica que el modelo capitalista niega. Si se supera la

cosificación impregnada en la tecnología por el capitalismo, ésta tiene el potencial de generar cambios sociales sustantivos, y en consecuencia, de delimitar la base técnica en torno a la cual es posible el fortalecimiento del marco institucional, las relaciones de interacción y el diálogo libre de dominación.

En esta sección, exploraremos cómo podría entenderse la relación entre las propuestas de ingeniería y la sociedad en la que se implementan, aspirando a un desarrollo de la disciplina en pos de una ingeniería crítica y consciente. Analizaré, en primer lugar, una definición del proceso de socialización e individuación según Hegel y el comentario de Habermas. Los autores postulan que el individuo moderno se constituye de una manera completamente distinta a como se suele aceptar: no nos hacemos a partir de seres atomizados y/o diferenciados el uno del otro, sino que nos constituimos a medida que reconocemos en la alteridad a un semejante. Una concepción del individuo desde esa perspectiva permite ampliar la relación de cómo la ingeniería concibe sus problemas con respecto a su contexto; ¿La ingeniería resuelve y luego se inserta él? ¿O la ingeniería, y su contexto, dan sentido a un problema que puede ser resuelto por el conocimiento técnico, enmarcado en un sistema social? Luego, veremos como la ecología social plantea el problema del cómo delimitar los contextos en donde el humano interviene. Las propuestas de esta disciplina ayudarán a comprender lo distinto que es el contexto social que buscamos para una ingeniería sustentable frente a lo que hasta ahora comprendemos.

Seguiré el análisis de la relación entre ingeniería y sociedad mediante el estudio de algunos conceptos originados en la sociología de la tecnología y la sociología de la ciencia. Enunciaré conceptos como sistemas socio-técnicos, ingeniería heterogénea y algunos elementos de la teoría actor-red. Estas perspectivas del análisis tecnológico a partir de la sociología permiten ampliar los conceptos con que la ingeniería se desenvuelve frente a la sociedad que sirve, por lo tanto, son de vital importancia si se quiere plantear nuevas formas de entender esta interacción.

Finalmente, aprovecharé la conexión entre estos dos temas para proponer reflexiones sobre el futuro de la ingeniería con respecto a lo social: ¿Cómo desarrollar ingeniería que entregue herramientas de empoderamiento?, ¿Cómo, a partir de la ingeniería, luchar contra las brechas en el conocimiento y la tecnología?, ¿Es la escala de la ingeniería un problema?

Desde la ética de la reciprocidad hacia la ingeniería en sociedad

Habermas, en otro ensayo titulado “Trabajo en Interacción” introduce una reflexión de Hegel sobre el origen de la identidad. Su análisis gira en torno a la contraposición de dos formas de entenderla: una monológica, donde el sujeto se entiende a sí mismo por sí mismo y una dialéctica donde el sujeto se entiende a partir de su interacción con el medio, tanto humano como natural. La idea tras esta comparación es pensar cómo se puede extrapolar ese yo dialéctico a cómo queremos entender la ingeniería en contexto: ¿Buscamos una ingeniería que existe por sí misma, ajena a la complejidad del medio o una que se entiende en función del contexto en el que actúa?

Se enfrentan, entonces, dos formas sustancialmente distintas de cómo se lleva a cabo el proceso de conformación de la identidad: Está, por un lado, el yo monológico, surgido de la identificación personal mediante la integración de normas

y valores como un molde al que se debe calzar. El yo existe *a priori* de su entorno. Y está, por el otro lado, el yo dialéctico surgido de la conversación entre ese yo monológico y autorreflexivo, con el yo contingente, el que se identifica como un participante en el entorno, donde interactúa con otros en igualdad de condiciones. El yo existe como producto de ese diálogo con su entorno.

Luego, quedándome con la propuesta dialéctica, el yo ya no existe por separado de la interacción social, no está preconcebido por una reflexión personal y luego puesto frente al mundo para intervenir en él, sino que el yo se hace, constante y progresivamente, en la interacción social, en el reconocimiento del otro como otro yo que también se está formando. Esta dialéctica de lo universal frente a lo particular alberga en sí una ética de la reciprocidad en el sentido de que el individuo, al reconocer que su identidad es un proceso formativo, en donde se contraponen la universalidad de entenderse a sí mismo fuera del mundo, como un ente separado y único; y la particularidad del yo en su contexto, como un individuo más entre muchos otros en igualdad de condiciones, sólo es posible mediante un diálogo en base a lo recíproco: Lo universal se comunica con lo particular mediante el proceso formativo, en donde la identidad universal del yo se reconoce en un contexto de individuos particulares y distintos, pero que comparten en una relación de iguales. Esto implica, como remata Habermas, que: “la individuación de un recién nacido, que en el seno materno es, como ser vivo prelingüístico, un ejemplar de la especie y al que biológicamente se lo podría explicar en forma suficiente por la combinación de elementos finitos, sólo puede ser entendida como un proceso de socialización; no debiendo ser entendida aquí la socialización a su vez como la inserción en la sociedad de un individuo ya dado, sino que es más bien esa socialización la que da como resultado el ser individuado.”⁵⁰

Hasta ahora, lo descrito parece complejo y fuera de foco respecto a las discusiones desarrolladas, pero concebir al individuo como un proceso formativo, mediado y definido por la interacción social, nos permite dar un salto hacia cómo podríamos entender y concebir la ingeniería en su contexto. Enfrentaremos una ingeniería originada de una relación monológica con su entorno social, contra otra pensada desde la relación dialéctica con el entorno. La primera, se define *a priori* como portadora de verdades empíricas, que vendrían a dar solución, desde afuera, a los problemas emergentes en la sociedad, mientras la segunda, se considera incompleta mientras no esté inserta en su contexto social. Entonces, a partir de su diálogo con el entorno, propone las soluciones a las necesidades emergentes.

Por lo general, los proyectos de ingeniería son desarrollados a partir de una iniciativa particular que busca dar solución a un problema específico. Se fijan metas, variables y procedimientos, a modo de que el resultado final cumpla las expectativas de quien impulsa la iniciativa; la construcción de un puente, la implementación de una planta productiva y el diseño de una nueva tecnología son ejemplos de productos originados a partir de proyectos de ingeniería, sustentados por iniciativas como la conexión vial entre zonas aisladas, la necesidad productiva o la necesidad de herramientas tecnológicas respectivamente. El proyecto lo desarrollan ingenieros, desde sus escritorios, en base a salidas *a terreno* y la información que estiman necesaria para que el resultado sea óptimo. Se diseña y al momento de implementar se hace la pregunta: ¿Cómo afecta el proyecto a su contexto social y natural?

⁵⁰ HABERMAS (2010, p18)

Seguimos, entonces, un modelo en donde el saber técnico ocupa un lugar privilegiado al punto de posicionarse por sobre las otras esferas. Los valores que rigen las decisiones, en las etapas de desarrollo de un proyecto de ingeniería, responden principalmente a necesidades técnicas como la eficiencia, la minimización de costos y, recientemente, la minimización de impactos. Esta aproximación implica aceptar *a priori* que la solución puramente técnica es *la* solución al problema, y que las posibilidades que surgen del análisis social y medio-ambiental, son externalidades ajenas a la ingeniería. El problema está, en que las denominadas externalidades son, justamente, los conflictos que surgen por la aproximación sesgada de la disciplina; ¿Qué sucedería si esa ingeniería monológica, basada en el *a priori* técnico, es reemplazada por una ingeniería dialogante, que se entiende como participante activo de su contexto?

Consideremos el proceso mediante el cual se concibe un proyecto de ingeniería. En los términos más generales posibles, y considerando elementos desarrollados en la parte anterior, como el *método* de la ingeniería propuesto por Koen, podemos diferenciar 3 agentes en éste proceso: 1. La ingeniería representada por el o la profesional o un equipo de trabajo con conocimientos técnicos relacionados al problema, 2. El contexto social desde donde surge y donde se implementa el proyecto y 3. El entorno natural, fuertemente ligado al contexto social y que absorberá los impactos del proyecto y, a su vez, responderá con una serie de transformaciones.

Si partimos desde la base planteada por Feenberg, donde toda tecnología (en este caso, la ingeniería como parte de la tecnología) se constituye a partir de 4 momentos de abstracción e integración con su entorno, podemos afirmar que cualquier intervención técnica tiene su origen y finalidad en lo social. Además, haciendo la analogía con el proceso de socialización que forma al individuo, cualquier proyecto técnico, al ser un emprendimiento humano, se desarrolla a partir de relaciones dialécticas con su entorno social y natural. Entonces, ¿Qué surge de éste cruce?, surge, que cualquier proyecto de ingeniería debe, como principio, ser participe en un contexto social y, en consecuencia, debe formularse a partir del diálogo existente entre dicho proyecto y su entorno. Esto implica que el modo de propuesta técnica *a priori* rompe con el diálogo, al imponer una solución regida únicamente por los valores de la técnica. Luego, un proyecto de ingeniería que se concibe desde esta relación dialógica con su entorno, contiene en sí, la fuerza de llevar a lo concreto la realidad social que pretende generar, dado que entiende que el proceso de integrarse implica la transformación de ambos agentes en una relación formativa y recíproca.

Pensar la ingeniería desde ésta perspectiva abre el espacio a la incorporación de valores rectores más allá de lo técnico, y permite el diseño de soluciones enfocadas en un bienestar social que se entiende desde adentro y no desde la posición de observador. A mi parecer, una ingeniería dialogante y posicionada en su entorno, apunta a generar la infraestructura técnica que permita empoderar su entorno social, logrando así las vías de avance hacia una sociedad donde las brechas tecnológicas son superadas y, en consecuencia, las potencialidades de desarrollo equitativo se ven ampliadas.

La ingeniería, entendida como un diálogo entre lo técnico y lo social, se enfrenta directamente a la ingeniería entendida como el saber tecnocientífico absoluto. Las soluciones tomadas como norma se relativizan al encontrarse con la

variabilidad propia de cada contexto. Ya no basta replicar soluciones validadas en otras instancias, sino que es necesario sumergirse en el entorno, sus comunidades humanas y no humanas, entender sus costumbres y formas de relacionarse con el medio, acoplar el saber tecnológico a las necesidades que emanan desde quienes tienen una relación directa con el espacio que habitan y, en consecuencia, entender que sus verdades complementan las verdades de la ciencia y la tecnología.

Si la ingeniería se auto-determinara, a partir del ya mencionado *a priori* técnico, y no se conformará a partir del diálogo con la sociedad, ¿Cómo respondería de manera responsable a las necesidades sociales?

La ecología social: humano y ambiente

Los fundamentos de la ecología social, descritos por Gudynas y Evia en *La praxis por la vida - Introducción a las metodologías de la ecología social*⁵¹, nos permiten comprender la interacción entre lo humano y lo ambiental y, específicamente, cómo se conforman estos sistemas y cuál es la posición que en ellos ocupa el hombre. Resulta importante indagar en estas definiciones por la necesidad de enmarcar la interacción técnica - sociedad. Hasta ahora, vimos cómo puede ser entendida en el sentido de cómo nos planteamos frente a un contexto social y la intención de aplicar la ingeniería en él, pero aún no delimitamos cuál es ese entorno social y natural, o, en palabras de la ecología social, el sistema ambiental.

Los autores definen la ecología social como “el estudio de los sistemas humanos en relación a sus sistemas ambientales”⁵², dando énfasis en que ambos sistemas, como su interacción, tienen igual importancia. Por sistema humano se entiende al individuo o un conjunto de ellos, sea una comunidad, una nación u otra forma de organización social. Luego, a partir del sistema humano, se estructuran el resto de los sistemas al considerar la delimitación del ambiente desde la perspectiva del hombre inserto en su entorno. Entonces, el sistema ambiental es considerado todo lo que interactúa con el sistema humano, reconociendo en él tres subsistemas distintos: el humano, el construido y el natural. El subsistema humano corresponde al resto de los individuos no considerados en la definición de sistema humano original. El subsistema construido corresponde a los productos creados por el hombre: calles, casas, ciudades, etc. Son los paisajes intervenidos o construidos. Finalmente, el subsistema natural corresponde a los bosques, montañas, ríos u otros espacios naturales junto a la flora y fauna que albergan.

Las definiciones presentadas, y los axiomas que veremos más adelante, cobran sentido en la búsqueda que lleva esta disciplina, que, como plantean los autores de manera precisa, y refiriéndose a la necesidad de que la sociedad humana, industrializada y urbana, se re-encuentre con la naturaleza a través de una interacción con un nuevo sentido, dicen que: “Un paso indispensable para esto [el nuevo sentido] es reflexionar sobre la situación actual. Hoy, en nuestra cultura prevalece la dominación de la naturaleza. Esta está anclada en una ideología que todo lo une. La naturaleza es concebida como ilimitada proveedora de recursos, siempre al servicio del hombre, sin derechos propios. La dominación se ha extendido a ser dominación en sí misma, no sólo sobre la naturaleza, sino también sobre los hombres. Ella se mantiene vigente gracias a una cultura, una técnica, una ciencia, y

⁵¹ GUDYNAS (1991)

⁵² GUDYNAS (1991, p26)

una política, que la legitiman. Existe una fe ciega en una ciencia y tecnología, postulándose que los problemas ambientales exigen únicamente soluciones técnicas. Ante esta situación reacciona la ecología social, y contrapone una utopía a esta ideología antropocéntrica y dominadora."⁵³

Resulta evidente que el argumento que motiva el desarrollo de la ecología social resuena con lo trabajado hasta ahora; los elementos de nuestro modelo de desarrollo actual, su ideología y metodología, amenazan con transformar el entorno, humano y natural, de tal forma que éste deje de ser apto para que existamos como especie. Por ésta razón resultan llamativos los principios de acción de la ecología social y, por ende, vale la pena revisarlos. En su manera de delimitar y explicar las relaciones del hombre con su ambiente, encontramos una forma de generar una interacción entre las intervenciones técnicas de la ingeniería con su entorno humano y natural, a modo de que la tecnología aporte hacia la integración sustentable.

Volviendo a la ecología social, se proponen 4 axiomas a partir de la definición del concepto y sus sistemas de estudio:

1. El hombre interacciona intensa y continuamente con el ambiente. Ni uno ni otro se pueden estudiar aisladamente, en tanto mutuamente se determinan aspectos de su estructura y funcionamiento.
2. La interacción entre los sistemas humano y ambiental es dinámica y se desarrolla en el tiempo y en el espacio.
3. La delimitación del ambiente es contingente a como se define el sistema humano.
4. El ambiente es complejo y heterogéneo en el tiempo y en el espacio.⁵⁴

Los primeros dos axiomas tienen directa relación con lo que propuse anteriormente: la relación entre lo humano y su entorno, en este caso, el sistema ambiental, que incluye el entorno social, es de carácter dialógico en el sentido de que están definidos por esa interacción y que ésta se desarrolla en el tiempo y en el espacio. Ninguno puede ser definido con anterioridad al diálogo, dado que se entiende que es un proceso formativo y dinámico, y en consecuencia, como se menciona en el axioma número uno, tampoco pueden ser estudiados aisladamente.

El tercer axioma implica que no existen definiciones absolutas para los sistemas estudiados. Al considerar la delimitación del ambiente contingente al sistema humano, se entiende que siempre dependerá de la perspectiva de las personas que constituyen ese sistema, ya que es el hombre el que se encuentra con la naturaleza y le da sentido, por lo tanto, el ambiente vendrá definido por cómo cada individuo, junto a su cultura, biografía y relaciones, interpreta su entorno.

El cuarto axioma apunta hacia la dificultad que implica el estudio y el trabajo sobre el sistema ambiental. No se puede reducir a leyes y esperar que éstas funcionen siempre, dado que el ambiente es un entramado de interacciones, y en su dinamismo se reformula constantemente. Por lo tanto, es necesario una delimitación crítica de éste, ya que de aceptar su reducción a un modelo, o, a una serie de postulados, se pierde la dimensión ligada al humano y su entorno social. Una

⁵³ GUDYNAS (1991, pp26-27)

⁵⁴ GUDYNAS (1991, p28)

delimitación del ambiente que no considera su complejidad y heterogeneidad está sesgada en los mismos términos que Feenberg propuso.

Sistemas tecnológicos e ingeniería heterogénea

En el análisis del caso Andino, la renovación del puente Q'eswachaka, introduce el concepto de determinismo tecnológico como una de las corrientes que busca explicar el origen y finalidad de la tecnología en nuestra cultura. Este tipo de determinismo, basado en la idea de que el progreso tecnocientífico avanza independiente de su entorno con la capacidad de moldearlo haciendo que la sociedad que lo alberga se adecue a dicha transformación tecnológica, se enfrenta al determinismo social que declara como la tecnología surge a partir del desarrollo de las instituciones sociales y el avance de la sociedad. Ambos enfoques posicionan uno de los dos polos, tecnología y sociedad, en una posición privilegiada y al hacerlo dejan a un lado los procesos formativos que surgen de la interacción de ambos elementos.

Una alternativa al determinismo tecnológico y social surge de los estudios de Arnold Pacey sobre tecnología y cultura. El autor propone entender la tecnología como una "práctica tecnológica" en un sentido similar al que se entiende la práctica médica. Argumenta que la tecnología aúna en su seno aspectos técnicos, como el conocimiento, habilidades, herramientas y recursos; aspectos culturales, como las metas, valores y códigos éticos; y aspectos organizacionales, como las actividades industriales y económicas ligadas a la práctica; que en su conjunto e interdependencia constituyen lo que se entiende por práctica tecnológica⁵⁵. En otras palabras, lo que Pacey captura en su definición es la interconexión de elementos propios del ejercicio de prácticas ligadas a la tecnología que en su conjunto le dan sentido a esta. No es suficiente entender lo tecnológico solo a partir de sus elementos técnicos o de su interacción con la sociedad, sino que su técnica, en interacción con lo social y en función de las relaciones que tejen, configuran la práctica tecnológica.

Bajo este concepto la tecnología es entendida entonces como un sistema o sociosistema que permite el intercambio y la comunicación entre los distintos aspectos de la práctica tecnológica.⁵⁶ Esta idea es compartida y ampliada por Thomas Hughes en su análisis de los sistemas eléctricos de potencia de principios del siglo XX⁵⁷. Al estudiar la evolución de la EBASCO⁵⁸, Hughes propone que la relación existente entre la tecnología y la sociedad viene dada por el *momentum tecnológico* que adquieren los sistemas a medida que se desarrollan en el tiempo.

El sistema que propone el autor gravita en torno a la aglomeración heterogénea, interactiva y desordenada de los elementos que lo constituyen: artefactos físicos, organizaciones, componentes científicos, artefactos legislativos y recursos naturales como también a las personas: científicos, inventores, industriales, ingenieros, gerentes, financieros y trabajadores⁵⁹. La interconexión de estos elementos, en lo que denominó una red sin costuras⁶⁰, articula los sistemas

⁵⁵ PACEY (1983, Fig. 1)

⁵⁶ OSORIO (2004)

⁵⁷ HUGHES (1983)

⁵⁸ Electric Bond and Share Company

⁵⁹ OSORIO (2004)

⁶⁰ *Seamless web*

tecnológicos con la sociedad de tal manera que tienen la capacidad de definir trayectorias de desarrollo capaces de generar un *momentum* que dificulta su posterior transformación.

Así, sistemas nuevos y de poco *momentum*, son altamente influenciados por la sociedad que define y moldea su trayectoria. Ya que se entiende que las personas o grupos de interés tienen la capacidad de definir y dar sentido a los artefactos. Pero a medida que el sistema se desarrolla, genera lazos políticos, económicos y de valor, se asienta en bases técnicas y organizacionales por lo que adquiere *momentum* y comienza a ejercer una fuerza sobre la sociedad con la capacidad de alterarla. Lo interesante de esta propuesta radica en que no recae necesariamente en un determinismo de ningún tipo; los sistemas jóvenes no reflejan un determinismo social y los sistemas maduros no reflejan un determinismo tecnológico, sino que la metáfora del *momentum* y las trayectorias permite comprender el desarrollo y las interacciones de los sistemas bajo un foco más amplio: la variedad de fuerzas y elementos que definen las trayectorias de un sistema tecnológico se articulan de tal manera que se hace imposible diferenciar las fronteras entre lo técnico y lo social, la red sin costuras es un plano que alberga al sistema tecnológico y lo nutre de lo que necesita para generar *momentum* y en consecuencia, asentarse.

La ingeniería y sus profesionales se posicionan en este escenario como los elementos constructores de sistemas tecnológicos^{61 62}, ya que albergan en sí mismos la capacidad de gestionar, coordinar y resolver una diversidad de problemas que enlazan lo técnico con lo social. Así se refuerza el argumento del vínculo fuerte entre ingeniería y sociedad como un enlace con tres elementos: La ingeniería, la sociedad y la interacción entre ambos. Si tomamos lo comentado por los autores, la ingeniería tiene un fuerte impacto en la sociedad al mismo tiempo que ésta determina los límites, la dirección y los motivos de la disciplina. Pero no nos podemos quedar sólo en el aporte de cada uno de los lados, sino que los elementos que surgen de la intersección de lo social con lo técnico definen de igual modo el panorama tecnológico. Así, los sistemas tecnológicos ocupan este espacio transformando las fronteras de lo técnico y lo social en la red sin costuras planteada.

John Law, en su análisis de la exploración marítima portuguesa en los siglos XV y XVI⁶³, y los diferentes sistemas tecnológicos que se estructuraron en torno a ese cometido, aporta con nuevos elementos al estudio de la estabilización y concreción de los artefactos tecnológicos. A diferencia de Hughes que pone énfasis en la coordinación de elementos heterogéneos: artefactos, políticas, ciencia, etc; en sistemas tecnológicos, Law propone que la imagen que mejor representa la forma en que la tecnología se asienta en la sociedad es por medio de una red en lugar de un sistema. Sobre este mismo punto, Callon aporta en aclarar la diferencia entre la red y el sistema de Hughes con el argumento de que la red tiene una cualidad maleable y adaptativa que el sistema excluye al generar, necesariamente, un “adentro” y un “afuera” ya que considera siempre una separación con su entorno⁶⁴.

Ahora, para entender las propuestas de Law introduciré dos conceptos: la ingeniería heterogénea y el principio de simetría generalizado.

⁶¹ CALLON (1987)

⁶² OSORIO (2004)

⁶³ LAW (1987)

⁶⁴ CALLON (1987)

Por ingeniería heterogénea se refiere a la actividad que permite la asociación de elementos variados en una red coherente y con cierto grado de resiliencia a la disociación. Un ejemplo que ilustra de buena manera este ejercicio es de la galera portuguesa y su evolución tecnológica. Frente a la necesidad de mejorar las condiciones de viaje en alta mar y la capacidad de carga, entre otras motivaciones, mediante un ejercicio de ingeniería heterogénea se asociaron diversos elementos: tecnologías marítimas emergentes, como la forma de la embarcación, el tipo de vela o el mecanismo de remo, junto a elementos como las necesidades de la corona portuguesa por expandir su influencia, la necesidad de encontrar nuevas rutas comerciales con oriente, la tripulación de la embarcación, los instrumentos de navegación, etc; se logró articular una red coherente y representada materialmente por la galera. Este artefacto logra aunar el esfuerzo de la ingeniería heterogénea y se mantendrá vigente mientras el medio, u otros sistemas, no ejerzan una fuerza tal que permita disociarlo. Por ejemplo, esta misma embarcación se vio en problemas cuando se tuvo que enfrentar a corrientes marinas más fuertes, a factores naturales o a la amenaza de los musulmanes en costas orientales, hechos que pusieron resistencia a la coherencia de la red articulada⁶⁵. Así, la galera se disocia como un elemento de exploración marítima y comienza otro ciclo de asociaciones hasta conformarse nuevamente y volver a enfrentar el medio, esta vez con mayor resistencia a la disociación. Otro ejemplo expuesto por Law es el de la invención del cuadrante y el astrolabio para la navegación en alta mar. Citando al autor sobre como los instrumentos por si solos no tienen un poder transformador, pero asociados a una serie de habilidades y un esfuerzo social por darles un sentido, se puede decir que “la construcción de una red de artefactos y habilidades para convertir las estrellas, desde puntos de luz irrelevantes en el cielo nocturno en aliados formidables en la conquista del Atlántico es un buen ejemplo de ingeniería heterogénea.”⁶⁶

La articulación de redes socio-técnicas, que aúnan elementos heterogéneos como artefactos, personas, instituciones, políticas, valores, etc; en sistemas coherentes con un grado de resistencia a la disociación de las partes que la conforman es la ingeniería heterogénea. Pero este concepto pierde parte de su sentido cuando no se consideran todos los elementos de una red como igual de influyentes en el resultado final. Esta asimetría es propia de tendencias deterministas como las vistas anteriormente, como también de las propuestas de Hughes en donde el humano tiene un rol mayor en la estructuración de los sistemas tecnológicos al tener mayor grado de libertad de acción⁶⁷. Para combatir este problema y plantear de éste modo una teoría que permita analizar de manera crítica la estructuración y estabilización tecnológica es que se plantea el principio de simetría generalizado.

La simetría generalizada proviene de una ampliación del principio de simetría planteado por David Bloor a principio de los 70', donde propone que se deben usar el mismo tipo de causas, las sociales, para explicar el conocimiento científico verdadero como el falso. Esta propuesta se origina como respuesta a la idea, predominante para la época, de que todo conocimiento científico entendido como verdadero es reflejo de leyes naturales y que todo conocimiento científico falso responde directamente a causas sociales o psicológicas. Así, el principio de simetría

⁶⁵ LAW (1987)

⁶⁶ LAW (1987, p124) *traducción propia*.

⁶⁷ OSORIO (2004)

pone en igualdad de condiciones todas las propuestas científicas permitiendo un análisis más completo.⁶⁸

A partir de ahí se propone el principio de simetría generalizado que busca ampliar el ya existente hasta el punto de eliminar la separación entre naturaleza y sociedad del mismo modo que el principio original elimina la separación entre conocimiento verdadero y falso. La simetría generalizada dice, entonces, que debemos dejar la idea de la naturaleza y la sociedad como principios de explicación y considerarlos ahora como un producto de las redes de asociaciones entre la heterogeneidad de elementos que constituyen la realidad.⁶⁹

Ahora, la simetría generalizada no solo diluye los dualismos sociedad-naturaleza al quitarles la categoría de principios convirtiéndolos en causas de la red de asociaciones, sino que permite posicionar a todos los elementos de la misma red en igualdad de condiciones hasta el punto de decir que los elementos carecen de sentido si se los considera por sí solos y que adquieren sentido, forma y sus atributos a partir de la interacción con el resto de los elementos en la red.

La ingeniería heterogénea se basa, entonces, en el principio de simetría generalizado para el ensamblaje de los elementos que conforman una tecnología o un sistema tecnológico en particular. Así, para entender el desarrollo y el impacto de éstos es necesario ampliar el foco de observación integrando entre las variables influyentes a todo actor que tenga la fuerza de alterar la red.

Resulta significativo, ahora, el ejercicio de enlazar lo enunciado con otros elementos trabajados. En el primer apartado, desarrollé la idea de considerar la ingeniería como un acto que se origina y se define a partir de su interacción con la sociedad. No existen ni lo uno ni lo otro por separado, sino que a partir de su interconexión es que ambos cobran sentido. Si consideramos ahora el principio de simetría generalizada, la forma en que son considerados los elementos de la red y como éstos cobran sentido dada la interacción entre ellos, es fácil notar la resonancia entre ambas propuestas. Así, el acto técnico de la ingeniería en contexto se complementa con la ingeniería heterogénea y se entiende su origen en base al principio de simetría generalizada. Del mismo modo, la ecología social y sus axiomas permiten entender el enlace de lo social con lo natural, cerrando así el ciclo y permitiendo integrar los tres elementos constitutivos de la ingeniería: tecnología, sociedad y naturaleza, en una sola red de asociaciones.

¿Ingeniería a otra escala?

Hasta este punto nos hemos adentrado en una manera distinta de entender la ingeniería en su contexto. El análisis del proceso de individuación o socialización descrito por Habermas, nos permite situar la ingeniería y sus intervenciones técnicas como una relación dialéctica con su entorno. No existen por separado ni de manera previa al problema a resolver, sino que se formulan a partir de la interacción que existe entre ingeniería y contexto. El enfoque ha sido principalmente el lado social de ésta interacción, ya que pretendo ahondar en el lado natural más adelante en éste trabajo, pero a partir de los principios y axiomas de la ecología social, comienza a ser evidente el fuerte vínculo que existe entre naturaleza y sociedad.

⁶⁸ TIRADO (2005)

⁶⁹ CALLON (1991) citado y traducido en TIRADO (2005, p4)

Volviendo, la socialización de la ingeniería como un evento formativo, relativo a su contexto, nos proporciona un medio para concebir los proyectos de la disciplina, pero no nos permite delimitar, por su propia cuenta, lo que entenderemos por contexto. Para lograr ese cometido, introduje los postulados de Gudynas y Evia sobre los sistemas humano y ambiental. Sus propuestas apuntan hacia el estrecho vínculo entre lo humano y su entorno, enfocando sus esfuerzos en la necesidad de trabajar a una escala humana, contingente a las necesidades del entorno habitado, y no necesariamente a la escala global que el capitalismo industrializado aspira.

Luego, lo expuesto a partir de los sistemas socio-técnicos y la ingeniería heterogénea, que permite articular la tecnología, la sociedad y la naturaleza como una red de asociaciones, se hace más claro el panorama entorno a la ingeniería en contexto. La simetría generalizada llama al estudio de las partes por sobre el todo, a considerar el detalle y desde ahí dar sentido a las estructuras, siempre cambiantes, que la red es capaz de generar, por lo tanto resulta conveniente la búsqueda de una ingeniería contingente y ligada a las soluciones locales sobre una ingeniería independiente del contexto y enfocada en soluciones globales. Al ubicar a todo actor de una red tecnológica en igualdad de condiciones, incorporamos en los criterios de evaluación y desarrollo de las propuestas de ingeniería un respeto y cuidado por los elementos no necesariamente técnicos, rompiendo así el sesgo tecnocrático y permitiendo la inclusión de factores nuevos en la ecuación. Es más, si se sigue al pie de la letra el principio de simetría generalizada, se elimina como tópico de discusión la separación entre lo técnico, lo social y lo natural, abriendo así el panorama para una innovación real en cuanto se derrumban los límites impuestos por el capital y sus dinámicas mercantiles.

A partir de lo propuesto, es posible ahondar en el problema planteado por Habermas y Feenberg sobre la dominación social inherente al modelo de progreso. El conflicto central de este problema es que el sistema necesita de una jerarquía social para su funcionamiento, deben existir privilegiados y desprivilegiados en cuanto a oportunidades de acción dentro del aparato dado que se busca mantener el estándar, logrando que el sistema pueda continuar con sus intenciones de progreso perpetuo. Luego, si la ingeniería no es capaz de apuntar directamente a la superación de ese conflicto, sus intentos terminarán nuevamente como herramientas cosificadas y utilizadas con fines de dominación. Sobre este último punto, resulta interesante integrar una reflexión sobre el carácter tecnológico de la sociedad, buscando así una resonancia con la necesidad de construir, o ensamblar, una tecnológica que no se rija por los estándares del capital. Tirado y Domènech comentan, a partir de la teoría actor-red, la idea de que, a diferencia de lo comúnmente entendido, lo que realmente mantiene unida en un “vivir-en-común” a nuestra sociedad humana es nuestra capacidad de fijar las relaciones sociales en elementos materiales “extra-somáticos”. Esta capacidad nos diferencia de sociedades animales que deben mantener sus jerarquías a cuerpo desnudo y sin herramientas, perdiendo así la continuidad que la sociedad humana conserva. Los autores agregan que: “efectivamente, nuestra interacción suele estar enmarcada, guiada o ritualizada, en definitiva, contextualizada por elementos extra-somáticos que tienen la propiedad de tornarlas repetitiva. Por ejemplo, un semáforo permite que tres normas de comportamiento (la luz roja ordena parar, la luz amarilla disminuir la velocidad y la luz verde seguir) se repitan continuamente sin necesidad de que ningún ser humano se dedique a aplicarlas y recordarlas”.⁷⁰ El argumento concluye

⁷⁰ TIRADO (2005, p8)

que finalmente, esta propiedad única del humano permite decir que lo social no es lo que nos mantiene unidos, sino que lo mantenemos unido mediante la contextualización constante de nuestras interacciones por medio de la materialidad.

Si consideramos esta relación con la tecnología (una de las materiales que cohesionan la sociedad), se refuerza la necesidad de generar una base o código técnico con atributos y valores fuera del estándar de mercado, ya que ese estándar es el que mantiene vigente y activo el ímpetu destructivo del medio ambiente y atomizador de la sociedad. En la construcción de una tecnología inclusiva, equitativa y a escala local se construyen también los vínculos sociales que permitan mantener una sociedad humana con normas y valores realmente sustentables.

Como mencioné anteriormente, la intersección entre la ecología social y la ingeniería en contexto apuntan hacia un desarrollo de ésta a una escala diferente y, en consecuencia, propone un modo de acción, que de ser aplicado conscientemente, alberga el potencial de romper las relaciones de dominación, mediante el empoderamiento local a través de la tecnología. En lo que queda de esta parte, me enfocaré en explicitar algunos puntos que creo servirán para encaminar la ingeniería en ese camino emancipador.

Primero, la ingeniería en contexto resuelve problemas a escala local mediante el desarrollo e implementación de tecnologías, que en su concepción, integran los potenciales y los límites del entorno que buscan intervenir. No es válida una solución proveniente exclusivamente de una abstracción a partir de un caso similar, porque se entiende que no existe tecnología fuera de su contexto, y que cada contexto es único en cuanto proviene de las interacciones humanas con su entorno social y natural. Considerando las soluciones locales, la ingeniería desarrollada bajo este principio apunta hacia la superación de las brechas existentes, en cuanto brinda las herramientas de empoderamiento tal, que las brechas tecnológicas, económicas o sociales son superadas. Ésto no implica renunciar a los elementos tecnológicos desarrollados por la ingeniería actual al considerarlos sesgados o relacionados a los sistemas de control, sino que con la integración de dichos elementos en el ambiente, y su eventual adaptación, se apunta a la consideración crítica de las herramientas a utilizar, haciendo explícita la relación que tienen con las comunidades, barrios o familias que intervienen, a fin de permitir un traspaso del conocimiento técnico y las oportunidades de acción que vienen de la mano.

A modo de ejemplo se pueden contraponer alternativas al diseño de una planta de reciclaje encargada de recolectar y tratar los residuos inorgánicos de una comuna. Una alternativa fácil y *ad hoc* al sistema, sería el diseño de la planta y la posterior licitación a manos de alguna empresa relacionada al reciclaje, que implementaría y operaría generando empleo y beneficios para quienes administran la empresa. La alternativa que se propone a partir de una ingeniería en contexto, se diferencia de la anterior no necesariamente en el tipo de tecnología utilizada; no hay (aún) mucha variedad técnica en cómo tratar residuos inorgánicos, pero sí en el cómo se implementa la solución.

Se consideraría primero quienes son los beneficiados con la propuesta: los vecinos y la municipalidad, luego, se pensaría en un diseño tal, que la planta sea operada por una agrupación de vecinos o alguna organización sin fines de lucro ligada a éstos, en donde puedan no solo dar sentido a sus esfuerzos de reciclaje, sino que tengan las herramientas para aprender del proceso y, a partir de ahí, contextualizar la práctica a modo de que lo llevan a cabo con sus propias manos y

no es invisibilizado en recintos privados. Este ejemplo, pese a ser simple, muestra como una solución convencional se transforma en un espacio de desarrollo comunitario, donde los partícipes son quienes lideran las iniciativas, transmiten el conocimiento e integran en su entorno prácticas saludables para el medio ambiente y las interacciones sociales. El rol del ingeniero en este caso radica, en primera instancia, en involucrarse con la comunidad, participar de sus interacciones, identificar los actores y las formas en que, por ejemplo, un plan de reciclaje podría funcionar. Luego, el ingeniero diseñará la planta considerando lo anterior y la finalidad de su operación, y finalmente, capacitará técnicamente a quienes liderarán la operación de la planta y, por supuesto, seguiría participando activamente de la comunidad.

Un segundo punto importante para la ingeniería en contexto es la consideración de que ésta no tiene todas las respuestas a los problemas que enfrenta. Por un lado, e invariable, está la incertidumbre inherente a cualquier problema de ingeniería y, como vimos recientemente, la complejidad que implica la intervención en cualquier sistema ambiental. Luego, por otro lado, está la humildad que surge de entender que la ingeniería no tiene todas las respuestas y necesita del complemento que brindan las ramas del conocimiento ligadas a los sistemas humanos, como lo son la antropología y la sociología, entre otras disciplinas. Así, la ingeniería en contexto busca resolver problemas sociales y medioambientales desde una perspectiva multidisciplinaria, dado que ninguna solución está completa si se origina únicamente del análisis técnico, aunque este siga los criterios de integración social antes mencionados. La soberbia de cargar todas las verdades es una deficiencia del mismo tipo que el sesgo del modo capitalista y su intención de neutralidad.

El tercer punto, y final, está relacionado a la escala en la que una ingeniería en contexto es efectiva. Considerando cómo se delimitan los sistemas humano y ambiental, pensar en una ingeniería capaz de dar respuesta a problemas a escala global resulta complejo, dado que pensar en un sistema humano que involucre a todos los individuos, sin lugar a duda traería problemas de representatividad, al no poder agrupar todas las culturas en una sola. Además, el sistema ambiental sería igual o más complejo de enmarcar, ya que la variabilidad del paisaje natural en el planeta, impediría el ejercicio de integrar sus necesidades y condiciones a cualquier planteamiento.

Frente a estos impedimentos, la ingeniería en contexto propone la resolución de problemas técnicos a escala local, considerando que de esa forma es capaz de generar las herramientas necesarias para el empoderamiento, permitiendo un desarrollo sostenible, en cuanto es a escala humana y responde a las necesidades de quienes impulsan los esfuerzos. Un desarrollo a una escala humana no implica la separación en comunidades cada vez más reducidas e independientes entre ellas, sino que busca formar redes de interdependencia, entendidas como la necesidad de que en conjunto se busque solución a los problemas propios de la civilización. El sueño de independencia absoluta resulta difícil de concebir en un mundo complejo y tecnologizado como el nuestro, por lo tanto, si para una mejor integración con el medio es necesaria una escala productiva menor, y más humana, la interconexión y la reciprocidad es la forma de lograrlo.

Parte III: Ingeniería y naturaleza

Como vimos en la parte anterior, la ingeniería y su entorno están fuertemente ligadas en cuanto vienen determinadas por el diálogo entre cualquier intervención técnica y su contexto. Este diálogo es el proceso formativo que da sentido a la intervención, al entender que ésta no existiría fuera de contexto, y que a su vez, el contexto de la ingeniería se define en base a la intención de transformarlo. Es entonces a partir de una relación dialógica que la ingeniería es situada y cobra sentido, por ende, no es definida *a priori*, a partir de una reflexión aislada de todo contexto, sino que se forma a medida que la interacción se desenvuelve.

Dada esa relación, y el poder transformador que tiene la ingeniería, es deber de ésta velar por el desarrollo de tecnologías que integren en su proceso generativo el diálogo con lo social. De ser así, la transformación, como fue precisado en la parte anterior, se guiará por valores que fortalecen la equidad social, la reciprocidad, la conservación y respeto por los pares y el medio ambiente, junto a otros valores ocultos tras la inercia que trae la otra ingeniería.

Este argumento se ve reforzado por las propuestas de Feenberg sobre la construcción de un nuevo código técnico capaz de guiar el desarrollo de tecnologías, y de intervenciones técnicas, hacia la construcción de un mundo como el planteado por *William McDonough*, autor que estudiaremos más adelante, que es “tan diverso, seguro, saludable y justo que da gusto vivirlo; con aires, suelos, aguas y energías limpias; para ser disfrutado de forma económica, equitativa, ecológica y elegante.”⁷¹

Pero un futuro como el descrito no es posible si la relación que mantenemos con nuestro entorno natural no cambia en el mismo vector que las transformaciones sociales propuestas. La naturaleza explotada por el hombre es la causa de la crisis ambiental. Es necesario un cambio radical en el cómo entendemos nuestra interacción con el entorno, de lo contrario, la crisis amenaza con frustrar, no sólo un futuro de igualdad social, sino que cualquier futuro posible.⁷² Es necesario superar la idea de nuestro entorno como un *stock* de recursos explotables, capitalizables y sometidos a una lógica de mercado. Nuestro entorno es más que esa simple reducción, y debemos integrar la complejidad negada, para así superar la explotación, con intención de construir una relación en base a la cooperación con la naturaleza.

Desarrollaré, en ésta parte de mi trabajo, una breve historia del concepto occidental de naturaleza, relatado, de forma sintética y precisa, por Gudynas⁷³. Su relato nos permitirá comprender el origen de nuestra relación con la naturaleza, devenida ahora en un mercado de capital natural y la influencia de la ingeniería en el asentamiento de ese concepto. Veremos también, que desde la concepción medieval y organicista, se evolucionó hacia una naturaleza como fuente de recursos explotables e infinitos, para luego ser retocada por la ciencia y la economía del siglo XX, hasta llegar a la idea del capital natural.

⁷¹ MCDONOUGH (2015)

⁷² La intención no es apelar a un argumento de corte apocalíptico, sino que hacer énfasis en la urgencia de cambio.

⁷³ GUDYNAS (1999)

En ese panorama, Gudynas plantea que en la actualidad existe una fragmentación del concepto de naturaleza en cuanto este se separó de su esencia y se le dio un significado contingente a lo que se quiere entender como desarrollo, concepto, a su vez, reducido únicamente al progreso tecnocientífico. Frente a esto, se propone una definición de naturaleza a partir de los principios de la ecología social y su relación con las interacciones sociales. Define naturaleza como un producto social proveniente de la relación entre naturaleza y desarrollo, haciendo énfasis en que una concepción particular de naturaleza, viene de la mano con una forma de desarrollo y, al mismo tiempo, un desarrollo particular genera una interpretación de la naturaleza única. El autor propone que el concepto de naturaleza viene dado por cómo la sociedad busca el progreso humano, por lo tanto, una sociedad que posiciona por sobre todo al saber técnico y científico, como único estandarte de verdad, se desarrollará por medio de una naturaleza explotada, fragmentada y simplificada.

Continuaré con el concepto *de la cuna a la cuna* acuñado por William McDonough. El concepto, y sus propuestas, circulan en torno al diseño como intención y a la necesidad de comenzar a generar soluciones que incorporen nuevos valores a la ecuación productiva. Ideas cómo: *construir una casa como un árbol*, *ciclo metabólico biológico y técnico*, *economía circular*, entre otras, son propuestas del autor que nos permiten posicionarnos en un espacio más cercano a la ingeniería, en cuanto el diseño es parte de cualquier proyecto ingenieril, y como vimos anteriormente, en ese punto se concreta la carga valórica de cualquier intervención técnica. Los elementos propuestos por este autor permitirán ligar conceptos más abstractos, como desarrollo y naturaleza, con la práctica de la ingeniería al hacer explícito el vínculo entre el diseño, la implementación y los valores que rigen el proceso en su conjunto.

Finalmente, cerraré con un ejercicio similar al desarrollado en la parte II, plantearé algunos puntos que creo significativos en el cómo la ingeniería debería relacionarse con la naturaleza, considerando ahora una ingeniería crítica, consciente, politizada y en contexto.

Naturaleza y desarrollo

En “Concepciones de la naturaleza y desarrollo en América Latina”, Eduardo Gudynas propone que los conceptos de naturaleza y desarrollo vienen dados por una relación dialéctica. Afirma que la definición de naturaleza tiene un origen social basado en la pluralidad de formas de entender *naturaleza* contingente a como el humano se relaciona con su entorno. De esta forma, cada cultura interpreta su entorno en base a su sistema de valores, permitiendo articular el concepto de naturaleza, y a su vez, como proyecta su desarrollo humano. El autor ahonda en la vinculación recíproca entre ambos conceptos al afirmar que hasta ahora, “la mayor parte de los estudios han insistido que desde una postura sobre el desarrollo se derivan las concepciones sobre la naturaleza.” refiriéndose a que un paradigma de desarrollo, por ejemplo la industrialización, plantea una forma de entender la naturaleza a fin a cómo se entiende el desarrollo industrializado. “Sin embargo, el vínculo también funciona en sentido inverso, y es así que ciertas concepciones de la naturaleza permiten a su vez sólo ciertos estilos de desarrollo.”⁷⁴

⁷⁴ GUDYNAS (1999, pp119-120)

Lo interesante de la segunda parte de la cita radica en el potencial que tienen las formas alternativas de entender la naturaleza, lejos de la explotación y la reducción, para proponer nuevas formas de desarrollo que integren valores distintos en sus metas de progreso. Aquí, lo dialéctico refuerza el vínculo entre naturaleza y sociedad, afianzando el hecho de que nuestra definición del ambiente es siempre desde una perspectiva humana y no existe una contraparte natural; la naturaleza no tiene una definición del hombre. Por lo tanto, desde lo humano se plantea la interacción con el ambiente y, en consecuencia, se estructura una forma de desarrollo que contiene a la vez que transforma el cómo nos relacionamos con la naturaleza.

A partir del vínculo entre desarrollo y naturaleza es que podemos pensar en la ingeniería y su quehacer como disciplina. Si se proponen nuevas formas de relacionarnos con el ambiente, necesariamente se propondrán formas de desarrollo que sigan la relación dialéctica antes mencionada, luego, la ingeniería es parte del proceso de creación y concreción de las estrategias de desarrollo, dado que el conocimiento técnico, aporte de la disciplina, contiene las herramientas que permiten materializar la relación entre el entorno, la tecnología que busca su transformación y el desarrollo.

Si seguimos el relato de Gudynas sobre el concepto occidental de naturaleza, se dejará ver, también, cómo la evolución de éste ha definido las distintas etapas del desarrollo occidental y en este caso particular, el desarrollo latinoamericano. Ahora, independiente de eso, veremos como una ideología en particular, la ideología del progreso, ha permitido que pese a las diferencias sustanciales en el cómo se han llevado a cabo los distintos proyectos de desarrollo, mantenga vigente una concepción de la naturaleza en donde ésta puede ser explotada como recurso, valorada sólo por su utilidad material y reducida a sus elementos cuantificables.

El concepto de naturaleza en occidente estudiado por el autor comienza con la fractura de la cosmología medieval. En ella, la naturaleza funcionaba como un organismo complejo que situaba al humano como órgano más. Éste existía como parte de un sistema mayor, y en consecuencia, su influencia en él estaba limitada por el funcionamiento del sistema, que como es sabido, correspondía, para la época, en una obra divina. En ese contexto, el hombre se ubicaba como un ser privilegiado en la naturaleza al ser el único interlocutor con la inteligencia superior, hecho que mantuvo una relación jerárquica con el entorno que, pese a las transformaciones a venir, no se perdería.

Con el renacimiento surgen tendencias nuevas de la mano de la necesidad de entender y controlar el mundo salvaje de la naturaleza. Se idea el experimento como forma de alcanzar respuestas a asuntos relacionados con el entorno, y entra en juego la capacidad de manipular el ambiente. Deja de existir un mundo misterioso, cargado de símbolos y regido por un soberano absoluto, y surge un mundo con leyes abstractas y principios, que, mediante la indagación y manipulación conveniente, pueden ser enunciadas y luego aplicadas con fines que van más allá de lo moralmente normado por la cosmovisión medieval. De ésta forma, la ciencia moderna rompe el paradigma organicista y posiciona al humano en el centro de la acción, otorgándole la posibilidad de ser un agente influyente en las dinámicas naturales, ya que ahora la naturaleza se comporta como una máquina que necesita del hombre para ser aprovechada. Este quiebre significó el punto de partida para una civilización humana con la capacidad de comprender y estudiar los fenómenos

naturales bajo los principios de la ciencia, así, se despojó poco a poco el misterio de la naturaleza a manos de una clasificación de ésta y su posterior usufructo.

Con esta nueva concepción, occidente tiene las herramientas necesarias para comenzar una línea de desarrollo que tiene como meta el ideal de progreso perpetuo. Se entiende que por medio del estudio de la naturaleza, con el fin de ser explotada y aprovechada, el humano está *ad portas* de una era de bienestar sin precedentes.

Bajo ese principio, del crecimiento continuo y siempre ascendente, surge la naturaleza como un *stock* de recursos. Se consideraría al ambiente como una fuente infinita, donde sólo es necesario encontrar los recursos, explotarlos y luego aprovecharlos bajo el afán de progreso. La reducción del ambiente a un mero contenedor dejó a la naturaleza en sus principios más básicos. Separando los frutos de su entramado de relaciones, red que mantiene a la naturaleza en movimiento, los minerales, el agua, los animales y los vegetales son abstraídos de su entorno, y son valorados sólo por el uso que el desarrollo humano pueda darles. Esta ruptura permite un desarrollo de corte extractivista y utilitario, que potenciado por una ingeniería que diseña en función de recursos ilimitados e impactos inexistentes en el entorno, mantiene vigente la posibilidad del crecimiento perpetuo y la expansión de los imperios coloniales a lo largo del planeta.

Ahora, a medida que la ciencia *entendía* el funcionamiento de los sistemas naturales, el poder de intervención técnica aumentaba, y en consecuencia, el *progreso* era más fácil. La naturaleza salvaje e indómita que asustaba a los exploradores en tierras remotas, por sus fieras, plagas y misterios, dio paso a una naturaleza disponible, infinita y capaz de mitigar cualquier acción humana sobre ella. Como mencioné recientemente, los recursos se explotaron y con sus frutos se mantuvo la ideología de progreso⁷⁵, donde el crecimiento, entendido como el poder económico disponible, el derecho privado y el control de la naturaleza es sinónimo de prosperidad.

El desarrollo descrito permitió el auge del imperialismo europeo, primero en base al dominio colonial y el flujo constante de recursos desde las colonias hacia el imperio, para luego ser reemplazado por un dominio de carácter capitalista, en donde los mercados *regulan* el desarrollo de las naciones. Estas dos posturas, pese a ser distintas en el cómo ejercían el poder que brinda la posición ventajosa, administrada por la tecnociencia y la dominación de la naturaleza, se diferencian sólo en cómo legitiman las relaciones de dominación.⁷⁶

A principios del siglo XX y especialmente a partir de la década de 1960 comienza a ser evidente que la idea de la tierra como un *stock* ilimitado de recursos está lejos de ser certera. Surgen alternativas a ese planteamiento que afirman la fragilidad de la naturaleza y el fuerte impacto que la industrialización y la explotación desmedida del ambiente han causado en el planeta. La base que legitimaba el modelo de desarrollo se desmorona, pero las fuerzas que impulsan el modelo no

⁷⁵ Gudynas llama ideología del progreso al conjunto de ideas que plantean el avance tecnocientífico como el único sinónimo de desarrollo. Además, un desarrollo en esas líneas permite que la dominación del hombre por el hombre y de la naturaleza por el hombre queden en segundo plano frente a los frutos materiales del progreso.

⁷⁶ Ver el comentario a Habermas en la parte I: Ingeniería y técnica.

quieren frenar la máquina de progreso perpetuo. Por lo tanto, es necesaria una nueva justificación.

Esa justificación emerge desde un entendimiento economicista de la ecología emergente a principios del siglo XX. Sus principios surgen a partir del concepto de sistema, extraído desde la física y aplicado a un contexto natural, donde se entiende la naturaleza como sistemas interconectados por flujos de energía y materia, integrando la visión cartesiana y mecanicista a sus postulados, al considerar que los sistemas funcionan en base a leyes y principios que pueden ser abstraídos, diseccionados, estudiados y utilizados. Una visión de la naturaleza de ese estilo, como un sistema de elementos atomizados pero conectados, estructura un marco de gestión que la economía capitalista no dejó de aprovechar. Si se entiende la naturaleza como un gran ecosistema en equilibrio, es necesario un modelo de gestión que permita la explotación del ambiente al mismo tiempo que se asegura su permanencia y funcionamiento. Surge entonces una idea de naturaleza en donde se integra su fragilidad y finitud pero no se limita el crecimiento perpetuo sino que se gestiona de tal forma que mantenga la máquina en funcionamiento. Los elementos que la ecología de sistemas abstraigo de su complejidad, son entendidos por la economía capitalista como variables de una ecuación optimizable y funcional.

Con el fin del imperialismo y el surgimiento de la economía de mercados, la naturaleza fue ahora entendida bajo la forma de un mercado de capital natural. Esta forma expande la racionalidad económica hasta el punto de absorber lo ambiental, transformando, por ejemplo, los ciclos naturales del agua en *servicios* aprovechables como inversión. La concepción del capital natural desarticula completamente la idea de naturaleza al dividirla en fragmentos aprovechables por los mecanismos del mercado. Se regulan los recursos según su depreciación en el mercado y se privatizan, con la excusa de la oportunidad de negocio, partes del entorno natural que nunca antes fueron entendidas como propiedad.

Con la progresiva dominación de la naturaleza, el desarrollo, guiado por la ideología del progreso, cimentó los medios productivos occidentales en base a la premisa de que la ciencia y la tecnología serían capaces de saciar las siempre crecientes necesidades de progreso. Ahora esos mismos cimientos amenazan con hacer imposible la vida en el planeta, ya que al agotar, usando los términos de la naturaleza capitalizable, los recursos que el planeta brinda, se detiene la máquina de progreso perpetuo que occidente, con tanto afán, ha mantenido en movimiento. Esta idea se ve reforzada por estudios como el cálculo del impacto del humano en el planeta. Se plantea que, como civilización humana, necesitamos los recursos de una tierra y media para mantener los modos productivos actuales. Es más, si no se avanza hacia un cambio, se estima que para el 2030 estaríamos utilizando los recursos de dos tierras para mantener nuestros estándares.⁷⁷ Estos datos son alarmantes, no sólo por lo crítico de la situación, sino que por la triste realidad de que hemos llegado a ese punto gracias a un modelo de desarrollo, que por desconocimiento o ceguera, no se hace responsable de cómo consumimos el planeta. Es absurdo pensar que estamos dispuestos a mantener un desarrollo en base a flujos que la tierra no es capaz de mantener.

Frente a ese panorama, es necesario proponer nuevas formas de entender la relación de lo humano con su ambiente, formas que impulsen las relaciones recíprocas, caritativas y en base a la búsqueda de un bien común, no solo entre

⁷⁷ GLOBAL FOOTPRINT NETWORK (2016)

humanos, también con el resto de las especies y el planeta en su conjunto. Porque si seguimos la línea argumentativa de Gudynas, una nueva relación con el entorno implicaría una nueva forma de desarrollo, que de la mano de una ingeniería consciente y crítica, se plantearía como alternativa para alcanzar una sociedad más justa, equitativa y solidaria.

Gudynas cierra su trabajo con una reflexión en torno a cómo plantear alternativas al desarrollo en América Latina que no caigan en las líneas de la ideología del progreso y su afán tecnocientífico. Partiendo desde la base de qué la naturaleza, como concepto, es una construcción social y viene determinada por cómo entendemos progreso y desarrollo como sociedad, se hace evidente que la mejor forma de generar las alternativas para el desarrollo es a través de un proceso de discusión política. Como mejor comenta el autor: "Nuestra relación con la naturaleza siempre se desarrollará en un contexto social, y la reflexión sobre sus valores propios puede iluminar nuestra propia conceptualización, pero nunca logrará una "objetividad" más allá del ser humano. Tiene valor en la medida en que es parte de nuestras propias construcciones sociales, y por ello es una tarea colectiva dotar de contenidos y significados a la relación con el entorno. Esto es, por definición, una tarea política. Nuestra visión de la naturaleza es parte de nuestra visiones de la sociedad y del progreso, y para cambiarlas, [hay que] debatir y reflexionar desde ámbitos abiertos de discusión y debate."⁷⁸

Una aproximación desde esta perspectiva implica aceptar que existe una diversidad de formas de entenderse con el entorno propias de cada tiempo y lugar, luego, una discusión abierta y entre iguales es la única forma que permitiría integrar las diferentes posturas, en pos de un entendimiento, que culmine en un desarrollo social adecuado a la crisis y su eventual superación. Una ingeniería que se hace partícipe de estos diálogos, aportando con el conocimiento técnico de intervención y transformación del entorno, pero sin caer en la arrogancia de monopolizar las verdades, es precisamente el foco de mi trabajo en lo relacionado a la ingeniería y su vínculo con la naturaleza.

En esa misma línea, si la ingeniería no es capaz de rehacerse en función de albergar un desarrollo que permita la vida en el planeta sin arrasarlo, el futuro se torna, literalmente, imposible. Cuestionar nuestras ideas de desarrollo y naturaleza se transforma en un acto de supervivencia. Es inviable el modelo capitalista, en lo humano como en lo ambiental, luego necesitamos de una ingeniería a la par del desafío de reconstruir nuestros principios, y en consecuencia, construir otro futuro posible.

El diseño de la cuna a la cuna

El diseño *de la cuna a la cuna* es un ejemplo de metodologías que integran una concepción nueva respecto a la relación humano - naturaleza, al mismo tiempo de promover prácticas ligadas a un desarrollo sustancialmente distinto. Describiré en qué consiste el concepto, sus principios y algunos elementos relacionados, a fin de ejemplificar porqué acercamientos de este estilo significan avances hacia plantear un futuro más consciente y ambientalmente responsable. Desde la ingeniería, el diseño *de la cuna a la cuna* sirve como marco de referencia en cuanto presenta las líneas de investigación y desarrollo de tecnologías afines a nuevos paradigmas relativos a

⁷⁸ GUDYNAS (1999, p122)

la sustentabilidad. En opinión propia, las propuestas de esta metodología son uno de los mejores ejemplos en cómo plantear el diseño frente a la crisis ambiental, presentan bases conceptuales que sirven para dirigir el diseño en esa dirección, al tiempo de fortalecer prácticas de conservación del ambiente y el uso efectivo de las tecnologías hacia un entorno limpio, seguro y saludable. Sin embargo, creo que el aspecto social de la propuesta no alcanza a abarcar la totalidad de problemas relatados en mi trabajo, pero, pese a eso, el objetivo es integrar a fin de generar alternativas novedosas e inclusivas, así, la ingeniería emergente tendrá las bases para afrontar el desafío de construir una sociedad justa en un ambiente sano.

El diseño *de la cuna a la cuna* se basa en tres principios fundamentales de los que se desprenden algunos conceptos que ayudan a articular la estructura de la metodología de diseño. Los principios son 1. Eliminar el concepto de basura (*waste*), 2. El uso de energía renovable y 3. Celebrar la diversidad. A continuación desarrollaré los tres principios y los conceptos que se desprenden de ellos.

Eliminar el concepto de basura: Éste principio se inspira directamente en los ciclos naturales y su lógica de cero desperdicio. El ejemplo que mejor ilustra la idea es el del árbol y su entorno, en donde las hojas, una vez finalizada su función, caen y son integradas por el suelo como sustrato. Lo que en un proceso es desecho, en otro es alimento, luego, el concepto de basura es eliminado.

En términos más generales, lo que busca este principio es cambiar el paradigma productivo lineal: tomar, hacer y botar, por uno de carácter circular, donde la etapa de botar es reemplazada por retomar, entonces, lo lineal se hace cíclico en la forma tomar, hacer, retomar, rehacer, etc⁷⁹.

La principal implicancia de integrar este principio radica en que es necesaria una transformación total sobre cómo diseñamos los procesos y que materiales utilizamos. Actualmente, gran parte de los materiales utilizados en la manufactura de productos y aparatos no tienen forma de ser reintegrados en los ciclos naturales, acumulándose en cantidades insostenibles para cualquier ecosistema. Basta pensar en el plástico producido desde la invención del nylon (1938) y su largo proceso de degradación. Si consideramos ese periodo como 400 años aproximadamente, todo el plástico producido a la fecha sigue acumulándose en los rincones del planeta.

Como respuesta a la existencia de materiales que no pueden ser reintegrados a los ciclos naturales, por su alta toxicidad, su complejidad en el tratamiento o simplemente su imposibilidad de ser reemplazado por otro material con potencial de degradación, el diseño de la cuna a la cuna propone la existencia de dos tipos de nutrientes que se mantienen circulando en sus propios ciclos metabólicos; los nutrientes biológicos y los nutrientes técnicos. Los primeros representan los materiales provenientes principalmente de fuentes naturales o trabajados por el hombre, pero que al final de su ciclo funcional pueden ser fácilmente integrados al flujo de nutrientes biológicos. Algunos ejemplos son el papel, las fibras naturales y los residuos orgánicos, entre otros. Los nutrientes técnicos son todos aquellos que no pueden ser integrados al ciclo biológico por las razones mencionadas

⁷⁹ Esta idea resulta más fácil de entender cuando se considera en su idioma original, el inglés. Se pasa desde un modelo lineal: *take - make - waste* a uno circular: *retake - remake - resource - retake*, poniendo énfasis en la última etapa como el momento en que el desecho (*waste*) es el sustrato de un nuevo ciclo.

anteriormente, pero que tienen potencial de ser reutilizados. Algunos ejemplos son el plástico, el metal y los productos químicos.

La idea tras la diferenciación entre los ciclos metabólicos, es justamente la eliminación del concepto de basura al considerar cada componente que termina su ciclo útil, en cualquiera de los dos ciclos, alimento para futuras iteraciones. Ésta idea impulsa a la búsqueda de soluciones con lo que tenemos a disposición, luego, podemos dejar de explotar nuestro entorno en busca de materiales técnicos y comenzar a reaprovechar la gran cantidad de nutrientes que abundan, por ejemplo, en basurales.

Desde la ingeniería éste principio integra una restricción nueva al proceso de diseño e implementación de cualquier intervención técnica. No basta con encontrar una solución factible en cuanto a la tecnología a utilizar y el cumplimiento de la función deseada. Ahora es necesario ser consciente en la elección de procesos y materiales, a modo de que todo lo utilizado sirva como nutriente para futuras intervenciones. Implica diseñar máquinas con una larga vida útil, por ejemplo, a modo de que nunca dejen de ser funcionales, ya que de suceder, se convertirían rápidamente en un desperdicio. De no ser posible esto último, el diseño debe integrar la modularidad de sus componentes, a fin de ser fácilmente desmontable y tratado por separado. A partir de integrar este principio en la ingeniería, el potencial de diseño que se abre abarca posibilidades en un abanico enorme en comparación con el diseño *antiguo*. Sólo es necesario explorarlo.

Uso de energías renovables: Éste principio es fácil de entender ya que viene en desarrollo desde distintas líneas relacionadas a la sustentabilidad. Su importancia radica en la transformación generalizada de nuestras formas de obtener la energía necesaria para alimentar los procesos productivos. Si no se potencian energías de cero impacto en el entorno, la degradación de éste continuaría avanzando hasta un punto de no retorno.

Desde el diseño *de la cuna a la cuna* llaman a incentivar las tecnologías y productos que se alimentan de fuentes solares, eólicas, hídricas, biomasa (sólo si en su producción no compite con la producción de alimento), geotérmica y celdas de hidrógeno.

En la ingeniería, integrar este principio implica no solo repensar cómo suministrar la energía que requieren los procesos para acoplarlos a los sistemas de energía renovable actuales, sino que preguntarse cómo se puede hacer un diseño que requiera menos energía, cumpliendo las mismas funciones. Se hace necesario explorar materiales que puedan producir su propia energía, procesos que a partir de sus mismos productos puedan saciar sus necesidades energéticas o el acople de procesos y tecnologías que en conjunto permitan un mejor aprovechamiento de este valioso recurso.

Celebrar la diversidad: Este principio se basa en la idea de que cualquier diseño enmarcado en el diseño *de la cuna a la cuna* debe apelar a la equidad social mediante una relación abierta entre la compañía que lidera el diseño y el resto de los participantes. Aboga a procurar producir siempre un bien al entorno social y natural en donde el diseño será implementado, potenciando la transparencia en las decisiones y la participación activa de todos los agentes involucrados.

Como mencioné anteriormente, creo que el diseño *de la cuna a la cuna* no presenta una buena propuesta respecto al papel que cumple un producto diseñado mediante esta metodología con su entorno social. A mi parecer, pese a tener una aproximación positiva frente a los problemas que aquejan a este tipo de intervenciones (decisiones por muy pocos que impactan en muchos, mala distribución de los beneficios, poca transparencia, etc.) en el sentido de que efectivamente proponen soluciones viables, creo que el foco al que apuntan es extremadamente limitado. Dudo que sea posible generar cambios significativos en pos de avanzar hacia la equidad social si las propuestas van dirigidas sólo a nivel empresarial. Como comenté en las partes anteriores de este trabajo, creo que el foco al que debe apuntar una ingeniería para la sustentabilidad es el desarrollo y empoderamiento local, es suministrar las herramientas técnicas que permitan una base desde donde proponer y generar avances a escalas mayores. Lo que propongo no excluye bajo ningún punto de vista las empresas y compañías que se adhieren a estos principios, pero tampoco se limita solo a ellas el potencial de transformar la sociedad.

Aparte de los tres principios que guían el diseño de productos y servicios *de la cuna a la cuna*, me gustaría comentar una propuesta que complementa lo ya enunciado. Se propone el concepto de diseño intencionado como guía para cualquier proceso en donde se desee plantear alguna solución. Con diseño intencionado se refieren a hacer explícito el foco al que el diseño va dirigido, específicamente, proponen comenzar a plantear soluciones que en vez de hacer *menos mal* hagan *más bien*⁸⁰. La idea tras esta propuesta radica en que una política de transformación que busca hacer menos mal al ambiente no significa ningún progreso real. Si nos guiamos por metas en esa línea, sólo lograremos desacelerar la crisis pero no superarla, por el contrario, si nuestras metas son desde el otro lado, en buscar hacer más bien al ambiente, la superación de la crisis se hace posible. En lo práctico, un cambio como el propuesto implica pasar de metas del estilo “reducir la contaminación de ríos y lagos en un 20% para el 2020” a “Asegurar que todos los efluentes de la industria nacional son aptos para el consumo humano”. La diferencia es clara.

El diseño intencionado hace eco a lo planteado en la primera parte de este trabajo. Si consideramos el sesgo formal introducido por Feenberg, es fácil encontrar el parentesco en el llamado a hacer explícitos los valores que rigen el diseño de una tecnología. El diseño intencionado es el primer paso de cualquier intervención técnica, ya que es necesario declarar hacia donde apunta el esfuerzo transformativo, eliminando el sesgo y transparentando las decisiones que guían el proceso. Una vez constituida esta base, el proceso continúa bajo la tutela de un equipo multidisciplinario, integrado tanto por humanistas como por ingenieros, ya que de esa forma se asegura la amplitud de pensamiento, permitiendo la incorporación de elementos que fácilmente pueden escapar el foco de humanistas o ingenieros respectivamente.

Kalundborg y la simbiosis industrial

El parque industrial de Kalundborg, una pequeña localidad costera en Dinamarca, se ha transformado en los últimos años en un ejemplo internacional de la ecología industrial. La forma en que las empresas pertenecientes al parque junto a la

⁸⁰ BRAUNGART (2013) *De less bad a more good*.

municipalidad y demás actores sociales organizan y coordinan el manejo de los residuos industriales ha permitido ahorros sustanciales en términos económicos y ambientales. Ahora, con el fin de comentar sobre las implicancias que tiene este ejemplo en cómo se puede entender la relación entre la ingeniería y la naturaleza, analizaré el funcionamiento del parque y otros tópicos en relación a éste, para luego plantear algunos puntos en relación a como se pueden extrapolar estas prácticas en pos del desarrollo de una ingeniería más consiente con su entorno natural.

El término simbiosis industrial hace referencia a un tipo específico de ecología industrial en donde los participantes se coordinan de tal manera de minimizar la producción de desecho, enlazando y coordinando la disposición de éste para ser utilizada como materia prima en otros procesos. Según Marian Chertow, en *“Uncovering” industrial symbiosis*, el concepto abarca más que el manejo eficiente de residuos, sino que “La simbiosis industrial asocia industrias tradicionalmente separadas en un esfuerzo colaborativo por alcanzar una ventaja competitiva correspondiente al intercambio físico de materiales, energía, agua y/o otros subproductos. La clave para la simbiosis industrial son las posibilidades de colaboración y sinergia que permite la proximidad geográfica”⁸¹. Ahora, en el caso de Kalundborg, los actores que se reconocen como impulsores de este modo de producción son *Asnæs Power Station*, una termoeléctrica a base de carbón, *Statoil* una refinera, *Novo Nordisk*, productora de farmacéuticos y enzimas y *Gyroproc* productora de planchas de yeso para construcción junto a la municipalidad y otros actores menores que en su conjunto comparten el parque industrial, por lo tanto, gozan de la proximidad geográfica que facilita el esfuerzo de simbiosis.⁸²

El sistema funciona como se observa en la **Ilustración 5**, donde *Asnæs*, posicionado en el centro de la operación, suministra el exceso de calor a la municipalidad para la calefacción local del pueblo y para las piscinas de cultivo de peces. Entrega, además, vapor para la operación de la farmacéutica y la refinadora, lodos de desecho para la construcción de carreteras, cenizas de las chimeneas a la fábrica de cemento y yeso a *Gyroproc*. A su vez, *Statoil* entrega gas a la termoeléctrica y a *Gyroproc*, haciendo más eficiente el uso energético y azufre rescatado del proceso de purificación de sus salidas a un productor de ácido sulfúrico, mientras la farmacéutica, *Nova Nordisk*, destina sus residuos orgánicos a la agricultura como abono. A parte de los vínculos ilustrados en la imagen, los actores participantes de la simbiosis comparten flujos de agua, generando una disminución en la extracción de ésta del medio natural.

⁸¹ CHERTOW (2007, p12) traducción propia.

⁸² GERTLER (1995)

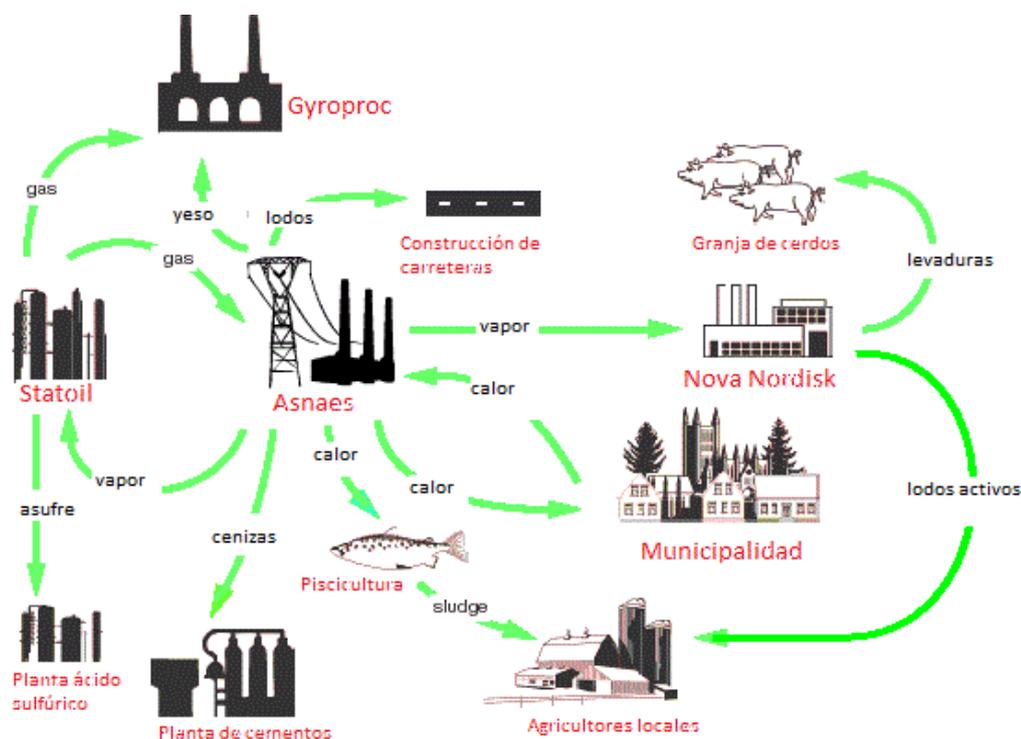


Ilustración 5: Diagrama de conexiones para el parque industrial Kalundborg⁸³

En cuanto a la efectividad de la simbiosis, el sistema de Kalundborg, en su historia de interconexión creciente, ha permitido no sólo una reducción significativa del consumo de agua y la emisión de gases de efecto invernadero, sino que ha significado, como la definición de Chertow anunciaba, importantes ahorros económicos en cuanto a la disminución del uso de materias primas por el reciclo de éstas y la disminución del consumo energético por el efecto cascada que utilizan las industrias asociadas.⁸⁴ La **Tabla 1** resume los datos mencionados.

Tabla 1: Ahorros de la simbiosis en Kalundborg⁸⁵

Recurso / Emisión	Ahorro anual
Agua	3.9 millones m ³
Azufre líquido	20.000 Ton
Biomasa	319.000 m ³

⁸³ Fuente: <https://goo.gl/rc7T3W>, traducción propia.

⁸⁴ DOMENECH (2011)

⁸⁵ DOMENECH (2011, p81) edición y traducción propia.

CO₂	64.460 Ton
SO₂	53 Ton
NO_x	89 Ton
Agua residual	200.000 m ³
Yeso	170.000 Ton

Los resultados positivos del caso de Kalundborg invitan a seguir el ejemplo y buscar formas de generar simbiosis en los parques industriales existentes o los que se puedan proyectar a futuro. La convergencia entre los beneficios ambientales, como la reducción de la extracción de agua y las emisiones de gases contaminantes, junto a que estos beneficios vienen de la mano con un ahorro económico, por ende, un incentivo a la industria por adoptar medidas como las comentadas, permite generar un espacio donde se hace posible un replanteamiento de cómo nos relacionamos con la naturaleza desde un ámbito técnico. Pero generar simbiosis industrial no es tan simple, según Gertler existen 4 requisitos base para que una iniciativa como ésta tenga resultados positivos⁸⁶. En primer lugar *las industrias deben calzar*, es decir, las formas de operación, los productos y como se administran éstos, junto a los subproductos y desechos deben posibilitar cierto grado de enlace con otros participantes de la potencial simbiosis. Esto no implica necesariamente que deben existir combinaciones específicas de industrias que pueden generar conexiones eficientes, sino que, bajo cierta base de operaciones comunes, se pueden desarrollar conexiones fuertes que permitan un grado adecuado de sinergia. Segundo, *las industrias deben estar geográficamente cerca* ya que de lo contrario, los costos de traslado comienzan a hacer inviable, económicamente, el esfuerzo de conexión. Nuevamente esto no implica que la simbiosis debe ocurrir en un sistema cerrado donde todos los flujos se redistribuyen internamente siguiendo la lógica de cercanía geográfica, sino algunos flujos pueden ser destinados a industrias lejanas, pero el enlace se ve favorecido en casos donde los costos de traslado son menores. Tercero, *debe existir un grado de cercanía “mental” entre los participantes*, es decir, por ejemplo, en Kalundborg, los ejecutivos de las industrias participantes se encontraban regularmente en la ciudad, por lo tanto compartían experiencias y opiniones sobre cómo gestionar y desarrollar sus industrias, luego, la comunicación y la confianza generada de dicha cercanía permite sobrepasar las barreras tradicionales de la competitividad en pos de un desarrollo colaborativo. Y cuarto, *el contexto cultural y normativo debe impulsar la conciencia ambiental*, es decir, no basta solamente con un interés económico de hacer más competitiva la operación mediante ahorros en materias primas, sino que se necesita que sobre una base cultural se estribe la conciencia ambiental. Citando a Gertler, en referencia al

⁸⁶ GERTLER (1995)

ejecutivo de *Asnæs*: “Christensen, el ejecutivo de la termoeléctrica busca formas de aprovechar eficientemente el carbón que quema, al tiempo que Christensen, el individuo se siente orgulloso en contribuir hacia un futuro sustentable.⁸⁷” Es decir, la motivación para generar una red simbiótica en lo industrial se perfila en torno a una conciencia ambiental por sobre una necesidad puramente económica. En paralelo a lo cultural, es necesario también que la normativa impulse la búsqueda de soluciones ambientalmente amigables. Si la normativa es laxa y pone énfasis sólo en el control preventivo más que el incentivo de transformar las tecnologías tradicionales y contaminantes, la industria no se verá impulsada a correr los riesgos necesarios para alcanzar un mejor grado de sustentabilidad ambiental con su entorno.

Ahora, considerando estas cuatro condiciones: ¿Cómo se relacionan las posibilidades de la simbiosis industrial con respecto a las propuestas de éste trabajo? ¿En relación a la ingeniería en contexto? ¿A la teoría de la tecnología contextualizada en una red? ¿A las alternativas de desarrollo y de concepción de la naturaleza?

Comenzaré con las posibilidades de desarrollo y naturaleza que abren prácticas como la simbiosis industrial para luego expandir el concepto y proponer algunas líneas de trabajo relacionadas a la ingeniería local y como se pueden articular redes de desarrollo tecnológico vinculante.

Al basarse en la colaboración de las industrias que comparten un medio natural común, éstas necesariamente avanzan hacia un desarrollo local y colaborativo. Lo interesante de este punto radica en cómo se puede considerar la naturaleza dentro de estas redes sinérgicas y como esto propondría un desarrollo distinto. Si se toma en cuenta el principio de simetría generalizada, el entorno natural se considera un actor más en las dinámicas de la simbiosis, por lo tanto ríos, valles, montañas y puntos tradicionalmente considerados como fuentes para la extracción de materias primas pasan a convertirse en elementos que albergan una complejidad que no permite reducirlos a meros reservorios. Cuando éste factor entra en acción al diseñar una red de simbiosis, los requisitos técnicos necesarios para su funcionamiento son radicalmente distintos a las propuestas de una ingeniería tecnocrática. Así, la explotación se vuelve inviable al considerar que los actores naturales forman parte íntegra del equilibrio dentro de la red, luego, de ser explotados hasta agotarlos, la red se derrumbaría y todo intento de desarrollo se hundiría con ella. Entonces las conexiones necesarias para una simbiosis estable y provechosa en términos económicos deben considerar las necesidades de los actores naturales ya que estos son fuente a la vez que sustento de toda operación industrial.

A mi parecer, una concepción de la naturaleza que la considera como un igual en cuanto a las necesidades y requerimientos de cualquier sistema, propone un modo de desarrollo más responsable en cuanto vela por la conservación del medio natural. Eso sí, este concepto, vale decir, abre el espacio para una interpretación distinta de la idea de “sustentabilidad” o “sostenibilidad”. Desde el lado meramente económico-extractivista, la sostenibilidad se considera como la capacidad de mantener un estado de desarrollo que sea capaz de mantenerse a sí mismo sin considerar otros factores como el deterioro del medio ambiente o la explotación social. Luego, para alejarse de ese concepto sesgado, propongo incorporar los

⁸⁷ GERTLER (1995, p39) traducción propia.

elementos enunciados por la metodología de diseño *de la cuna a la cuna*, en donde el esfuerzo de generar propuestas técnicas radica en buscar en la misma naturaleza y sus dinámicas las herramientas que permitan un desarrollo ya no sólo conservacionista sino que restaurativo⁸⁸. De esta forma, la idea de desarrollo propuesta se estructura en torno a cómo generar un bienestar humano al mismo tiempo que se avanza hacia la recuperación de la naturaleza, conservando así la posibilidad de un futuro en un planeta habitable.

La ingeniería en contexto hace eco de una concepción como la planteada de naturaleza y desarrollo al fomentar la tecnología local y contingente a la realidad social de la que es partícipe. La implementación de nuevas tecnologías, en cuanto a productos, procesos y formas de capturar la energía necesaria para su funcionamiento, se vuelve viable en términos económicos cuando se considera a una escala menor. Tecnologías solares, eólicas y/o geotérmicas en el aprovechamiento energético, o sistemas como *Qhantir*⁸⁹, proyecto impulsado y desarrollado por el grupo biestamental⁹⁰ *Diseño Sustentable* del Departamento de Ingeniería Química y Biotecnología de la Universidad de Chile, donde se busca implementar una tecnología de purificación de agua independiente del sistema interconectado y capaz de generar agua potable en localidades remotas a partir de la *mimesis* de los fenómenos naturales propios de la cordillera de los Andes, son ejemplos de tecnología e ingeniería novedosa que no tienen cabida en contexto industriales o macro al considerarse muy riesgosas para la inversión. En cambio, cuando la ingeniería de este estilo es planteada en contextos locales, su riesgo económico cobra menor relevancia en comparación con los beneficios sociales y medioambientales que propone. La ingeniería en contexto se nutre entonces de iniciativas con tecnología novedosa y amigable con el medio ambiente, porque considera que en ese nicho de desarrollo yace la oportunidad de hacer un cambio y en consecuencia construir un sustrato tecnológico para avances posteriores.

En la misma línea, la ingeniería en contexto, alimentada por tecnologías emergentes que buscan en la imitación de la naturaleza posibilidades de generar un desarrollo restaurativo del medioambiente, se afianza como propuesta cuando se enlaza con la idea de las redes sociotécnicas y su naturaleza relacional. La ingeniería en contexto se posiciona entonces como un actor más en las redes que estructuran la realidad social y natural del humano y su entorno. Se entiende a sí misma, como se propuso anteriormente, como un producto y no como el origen de las relaciones entre tecnología, sociedad y naturaleza. Así, una ingeniería sesgada no tiene sentido en una red de relaciones ya que ésta, por definición, se posiciona por fuera de todo entramado, abstrayéndose de la realidad que pretende transformar y logrando con eso propuestas que responden más a necesidades del aparato tecnocrático por sobre las necesidades de una sociedad empoderada en la restauración del *socioambiente*⁹¹.

Ahora, a modo de síntesis de la relación entre mis propuestas y las posibilidades que abre la simbiosis industrial, puedo enunciar lo siguiente: Primero, la simbiosis industrial, como articulación de redes de intercambio material y de conocimiento, sirve como base para una ingeniería local y contingente a su socioambiente al abrir el espacio para una concepción del medioambiente como un

⁸⁸ PAWLYN (2011)

⁸⁹ MIRANDA (2015)

⁹⁰ Conformado por estudiantes y académicos.

⁹¹ Unión de "lo social" con "lo natural".

partícipe activo, con necesidades y requerimientos, tan válidos como los del humano y las instituciones que comparten dicho espacio. Segundo, la implementación de tecnologías emergentes, con un diseño intencionado hacia la *mímesis* de la naturaleza como una forma de generar cambios, no sólo conservacionistas sino que regenerativos, permiten a esta ingeniería proponer una vía de desarrollo que se fundamenta en otra forma de entender la naturaleza. Tercero, la convergencia entre las teorías que entienden la tecnología como el producto de una red de relaciones y una ingeniería que busca responder a las necesidades de una sociedad que quiere recuperar la naturaleza, permiten situar a la ingeniería en contexto como el vehículo por el cual es posible una transformación profunda de como entendemos y de cómo hacemos ingeniería.

Así, la intención de la ingeniería por transformar la realidad con medios tecnológicos, ahora entendida como un acto local, contingente e históricamente situado, permite proyectar dicha transformación hacia la solución de la crisis socioambiental desde una mirada regenerativa del medio ambiente, participativa en cuanto empodera a los actores que son parte de ella y relacional en cuanto se define gracias a que interactúa con la realidad a transformar.

Algunas ideas sobre la naturaleza

A modo de cierre para esta parte haré una síntesis de los aportes que puedo extraer a partir de los autores estudiados.

De Gudynas y su relato sobre naturaleza y desarrollo, se extrae, primero, la evolución del concepto de naturaleza en occidente. Vimos como la relación con el ambiente pasó por distintos estados hasta culminar en una naturaleza comprendida como una fuente de capital natural. Explotable y gestionable por las leyes del mercado, privatizada y fragmentada en un sinfín de elementos que la abstraen de su complejidad y profundidad inherente. Vimos, luego, como las distintas concepciones sobre el ambiente tienen una relación directa y de diálogo con el desarrollo occidental. Como una forma de desarrollo delimita una concepción única de naturaleza afín a los propósitos de éste, permitiendo, en el caso occidental, un desarrollo industrial y económico a expensas de la degradación exponencial del medio ambiente. Además, al existir una relación dialéctica entre naturaleza y desarrollo, vimos que existe la posibilidad de plantear nuevas formas de desarrollo que escapen de la ideología del progreso tecnocientífico, sentando las bases para un futuro donde la conservación, cuidado y respeto del medio ambiente, es compatible con los sueños de una sociedad más justa. Considerando estos elementos, el llamado es a plantear una relación con la naturaleza que permita compatibilizar la ingeniería, sus aportes técnicos y su intención transformativa, con un ambiente, humano y natural, bajo la premisa de la cooperación.

A partir del diseño de la cuna a la cuna podemos extraer un ejemplo que integra concepciones nuevas sobre la naturaleza aplicadas directamente al diseño de productos, servicios y tecnologías. Se proponen tres principios rectores para hacer un diseño intencionado hacia una mejora constante del ambiente, frente a los intentos actuales de reducir los impactos conservando los medios tradicionales de producción (y diseño). El diseño de la cuna a la cuna sirve como marco de referencia para proponer desde la ingeniería. Si la disciplina es capaz de integrar en sus procesos de diseño los elementos enunciados por esta metodología, sin lugar a

dudas los productos que se obtengan del ejercicio tendrán el potencial de generar un impacto positivo en el ambiente.

Finalmente, a la par de las propuestas derivadas del análisis de la simbiosis industrial practicada en Kalundborg, plantearé algunos puntos, de mi concepción propia sobre la naturaleza, a modo de enunciar principios que considero claves para el desarrollo de una buena ingeniería⁹². Cabe mencionar que comparto la idea de Gudynas sobre la necesidad de que nuestra nueva concepción de naturaleza y desarrollo provenga de una discusión abierta y libre, pero considero que este es un espacio apropiado para compartir mis propuestas.

La abundancia en la naturaleza es el primer principio que me gustaría extrapolar a la práctica de la ingeniería. La evolución es ciega en cuanto no tiene una conciencia que toma decisiones como un ser racional. La predominancia de una especie, la supervivencia de otra, o a escalas mayores, la evolución del entorno: ríos, montañas y valles a manos de la misma naturaleza y sus eventos climáticos, como de las especies y su impacto directo al entorno, se han dado gracias al dinamismo y la variedad propias de cada ecosistema. En ese contexto, la abundancia juega el papel de soportar la gran variedad de opciones posibles para que surjan posibilidades de cambio. Si la naturaleza no se expresara en una variedad casi infinita de formas, ésta no sería capaz de resistir el flujo constante que significa la vida en este planeta. La abundancia le da la misma oportunidad a cada opción de prosperar en su entorno, por lo tanto, enseña sobre justicia, cooperación y crecimiento.

Ahora, si quisiéramos integrar la abundancia como un principio rector en nuestra búsqueda de soluciones, debemos abrir, completamente, el espectro de posibilidades. No cerrar ninguna puerta a la experimentación, teniendo cuidado, siempre, del respeto a la vida de nuestros pares y del resto de las especies en el planeta. Buscar la abundancia de posibilidades implica, también, aceptar que ninguna solución está completa y es definitiva, la variedad en la abundancia de posibilidades, y su pluralidad, enseña que no existen soluciones únicas como tampoco verdades absolutas, sino que soluciones contingentes y verdades en contexto. Una ingeniería que integra la abundancia buscará, entonces, incorporar en su práctica todas las posibilidades que la circunstancia de: la variedad de tecnologías posibles, la variedad de participantes en su contexto social y la infinitud de relaciones existentes en su entorno natural.

El segundo principio que me gustaría comentar es el dinamismo, el cambio constante, de la naturaleza y sus ciclos. La idea de que la naturaleza se comporta como un sistema que, frente a cualquier cambio, retorna hacia un punto de equilibrio ha sido contradicha por estudios más recientes⁹³. Resulta que la naturaleza no es capaz de volver hacia un equilibrio predeterminado, sino que a partir de una transformación abrupta, como por ejemplo, un incendio en un bosque, ésta, en el proceso de reconstituirse, encontrará un nuevo estado que se adapte a las nuevas circunstancias. Antes del incendio, por ejemplo, la población de liebres en el bosque hipotético era abundante, impidiendo la proliferación de un tipo específico de maleza que servía como alimento para este animal, pero con el fuego y el caos de ese

⁹² Debo advertir, en este momento, que el desarrollo de estos principios responde más a búsquedas personales y a como creo que podrían estructurarse la exploración de tecnologías. Sólo pretendo que mis argumentos permitan abrir las posibilidades de discusión.

⁹³ Ver, por ejemplo BOTKIN (1990)

evento, muchas liebres murieron o escaparon, permitiendo que la maleza, antes limitada, ahora pueda proliferar y colonizar espacios que antes ocupaban otras especies. Un ejemplo así es una simplificación exagerada de cómo se transforma un ecosistema en el tiempo, es más, el ejemplo podría servir como punto de partida para una cadena extensa de transformaciones, dando como resultado un bosque completamente distinto, en sus dinámicas internas, al bosque previo al incendio. Si la naturaleza funcionara como un péndulo que siempre vuelve hasta el mismo punto de reposo, cambios como el del ejemplo no ocurrirían, impidiendo así el flujo que permite el avance constante de la evolución.

La extrapolación de este principio hacia la práctica de la ingeniería, o a la búsqueda de soluciones tecnológicas, va de la par al principio de abundancia. Incorporar el dinamismo de la naturaleza en nuestras formas de desarrollo implica la búsqueda de formas adaptables sobre otras más rígidas. Implica plantear soluciones que incorporen potencialidades de cambio, modularidad y capacidad de reinserción en los ciclos de naturales, entre otras posibilidades por explorar. Pretender que una tecnología es una solución definitiva es como dejar una hoja en el río y esperar que al día siguiente la corriente no se la haya llevado. Siguiendo esa imagen, incorporar el dinamismo de la naturaleza sería preparar la hoja de modo tal que ésta no se hunda o se pierda en el caudal, turbulento, del río.

El tercer principio que quiero desarrollar es la interconexión de los elementos en la naturaleza y la complejidad que generan. Pensemos en un ejemplo cotidiano: un jardín. Si queremos estudiarlo, para entender sus dinámicas y así intervenir en él con algún fin específico, comenzamos por tomar alguno de sus elementos y, desde ahí, adentrarse en las conexiones existentes y cómo éstas determinan el funcionamiento del sistema completo. La dificultad de este acercamiento radica en que la red de dinámicas existentes, en un ejemplo tan simple como un jardín, son tan bastas que no tenemos las herramientas suficientes para alcanzar un conocimiento del sistema tal, que nos permita asegurar cómo se desarrollará en el tiempo y en el espacio. Si consideramos una planta en particular, y pensamos en los elementos que condicionan su desarrollo: variedad de insectos, variedad de otras plantas en su entorno inmediato, calidad del sustrato, cantidad de luz, periodicidad de riego, entre otros factores, rápidamente nos damos cuenta que determinar el funcionamiento interno de un sólo elemento en el sistema no es fácil. Pero consideremos que lo logramos, tenemos un modelo que incluye todas las variables posibles para el desarrollo de una planta en particular del jardín, ¿Que sucede ahora cuando evaluo el modelo frente a la infinidad de los otros modelos posibles? ¿Puedo predecir, verídicamente, el comportamiento de un sistema a partir de la simplificación de éste en términos técnicos? Tal vez, con una supercomputadora podría alcanzar la capacidad de computar la infinidad de datos que puedo extraer de un sistema menor como un jardín, logrando así un modelo funcional. Pero pese a alcanzar esa meta, ¿Que finalidad cumpliría lograr el modelamiento de un sistema natural? Ahondando en ese punto surgen dos interrogantes vitales: ¿Puedo, realmente, decir que la naturaleza es entendible para los métodos humanos? ¿Cómo podemos acercarnos a la complejidad inherente a la naturaleza, sin reducirla a elementos atomizados y simples que permiten moldearla pero no entenderla?

Integrar la complejidad de la naturaleza en nuestras búsquedas tecnológicas implica comprender que en su funcionamiento interno existen dinámicas que no lograremos entender mientras intentemos aproximarnos a ellas por simplificaciones y abstracciones de éstas. La terquedad de querer dominar la naturaleza, mediante su

reducción, impulsó los procesos que han degradado el medio ambiente. Si queremos superar la explotación de éste, debemos primero, superar la lógica de la reducción, y comenzar a investigar la naturaleza como un sistema complejo, poblado de elementos que no pueden ser apresados por ecuaciones o datos, sino que evolucionan y se reestructuran constantemente gracias al dinamismo y la abundancia. A mi parecer, desde una perspectiva que no busca capturar la naturaleza, sino que aprender de ella, podremos desarrollar tecnologías capaces de integrarse al medio social y ambiental, abriendo espacios de exploración que nos guiarán hacia un futuro donde el desarrollo humano y la conservación del planeta son compatibles.

Síntesis

Como he comentado a lo largo de éste trabajo, nos encontramos, como civilización occidental y como especie humana, frente a una crisis ambiental capaz de transformar radicalmente la forma en que vivimos. Los estudios científicos⁹⁴ respecto a los alcances de la crisis proliferan y confirman lo que hace más de 40 años se viene diciendo: el planeta no tiene cómo resistir a nuestras formas de producción, consumo y desecho. El modelo de crecimiento perpetuo trae consigo una explotación y contaminación del ambiente que hace, con cada día que pasa, más real la amenaza y aún más real la necesidad de generar propuestas capaces de superar la crisis, asegurando así el futuro de las generaciones por venir.

Pero el problema a resolver involucra no sólo al ambiente y su eventual degradación, incluye también, sino primero, al humano y sus formas de relacionarse internamente como especie. A partir de lo estudiado, es posible asegurar que la dominación del hombre por el hombre es parte fundamental de la crisis que enfrentamos. Nuestros medios de producción y la injusta distribución de los frutos de éstos son la primera causa de desigualdad económica y de oportunidades a lo largo del planeta. Desigualdades que materializan e incrementan las brechas existentes entre las comunidades, países o regiones que ocupan posiciones desprivilegiadas en el modelo de *progreso*, mantenido, a lo largo de años de historia occidental, pese a que los efectos de hacerlo resultan perjudiciales, sino catastróficos, para el humano y su ambiente en conjunto.

La tesis de este trabajo gravita en torno a la responsabilidad de la ingeniería en la perpetuación de la crisis socioambiental y la necesidad de que ésta, la disciplina, sea replanteada desde el cuestionamiento de sus principios como herramienta que permita superar la crisis. La construcción de una sociedad que mantenga una relación con su ambiente, tanto humano como natural, tal que, a lo menos, se mantenga una convivencia justa entre humanos y no explotadora hacia el entorno, es también un problema de la ingeniería y, por lo tanto, es necesario buscarle una respuesta. De encontrarla, se aseguraría la continuidad de la especie en el planeta y, por sobre todo, la continuidad de las condiciones ambientales tal que la vida es posible.

El cuestionamiento de la ingeniería, como una de las disciplinas involucradas en el desarrollo de tecnologías y soluciones tecnocientíficas, implica la búsqueda de alternativas que permitan acortar y eliminar las brechas que separan la pobreza de los estándares desarrollados. Si la vía de la industrialización ya no es compatible con un planeta amenazado por la contaminación antropogénica, las comunidades y naciones que busquen superar las abismantes diferencias en el acceso a oportunidades para un mejor estar, necesitan de una tecnología que les de las oportunidades negadas por las dinámicas dominadoras y explotadoras. Entonces, con el replanteamiento de tres relaciones clave para la ingeniería: técnica, sociedad y naturaleza; y sus interacciones con el mundo, busco sembrar ideas que guíen una ingeniería proveedora de las herramientas que construyan un mundo más justo y solidario en lo social, e integrador y respetuoso en lo ambiental.

⁹⁴ Ver por ejemplo NASA (2016)

Ingeniería y técnica

En la primera parte de este trabajo levantamos el edificio de la ingeniería. A partir de sus definiciones se ilustró su imagen, comprendimos como la disciplina se entiende a sí misma, su fuerte vínculo con la ciencia y la tecnología además de su otra dimensión, menos explorada pero particularmente importante: su raíz social y contingente a su entorno. Con la descripción del método identificamos su estructura y el modo con el que se enfrenta a sus problemas. Se plantearon cuatro elementos clave que definen el quehacer del ingeniero: la generación de un cambio, la limitación de los recursos y la búsqueda de *lo mejor*, enmarcados, los tres, en la incertidumbre siempre presente.

Estos elementos permiten describir, de manera justa e inequívoca, la dimensión técnica de la ingeniería. La disciplina que nuestro modelo de progreso ha desarrollado potencia al máximo sus aspectos técnicos en desmedro de sus aspectos sociales, identificados parcialmente y resueltos de manera simplista con *el juicio del ingeniero*. Esa orientación ha generado los efectos negativos mencionados, pero resultaría irresponsable no valorar el perfeccionamiento técnico que se ha llevado a cabo a lo largo de años de esfuerzo académico y práctico. La ingeniería, como saber que busca aplicar la ciencia a su entorno, cumple a cabalidad con sus definiciones en esa dimensión. Sólo falta desarrollar a fondo, a modo de integrar en el quehacer, la dimensión social mirada en menos.

En esa línea, y como contraargumento al *juicio del ingeniero* como lo que representa la dimensión social, incorporé el análisis del capitalismo tecnocrático de Habermas. Sus argumentos permiten poner en perspectiva el dilema ético que representa el poder que alberga un profesional de la ingeniería en sus decisiones. Siguiendo su relato, vimos cómo a lo largo de la historia occidental, la tecnología y su transformación del mundo, se han posicionado en un lugar privilegiado, permitiendo justificar, directa e indirectamente, prácticas que a ojos críticos resultan fundamentalmente poco éticas. La conciencia tecnocrática válida, en función del bienestar material y la despolitización ciudadana, un modelo de progreso donde resultan aceptables, e incluso *positivas*, para ese estándar, las desigualdades sociales y su implicancia directa: hambre, pobreza y enfermedad en un porcentaje importante de la población mundial, mientras otro porcentaje tiene el privilegio del desperdicio⁹⁵.

La crítica a la *ciencia y técnica como ideología* no sólo nos permite mirar el *juicio del ingeniero* desde otra perspectiva, también aporta en el planteamiento de alternativas a cómo superar la conciencia tecnocrática, o transformarla, a modo de que sea posible explotar su fuerte vínculo con la sociedad que, hasta ahora, ha dominado. Habermas describe como el poder transformador de la técnica, ahora sin restricciones, ha desplazado del panorama social y público, espacios que no deben ser guiados exclusivamente por valores técnicos. La educación entendida como una acumulación de conocimientos y habilidades aplicables, frente al desarrollo integral de un individuo en sociedad, o la política enfocada en la resolución de los problemas técnicos de un modelo económico, frente a la política como discusión abierta y democrática de los valores que deben regir nuestro desarrollo, son ejemplos vivos de cómo la absorción de las instancias de interacción humana, a manos de los

⁹⁵ Ver, por ejemplo, el artículo publicado en la página web del *World economic forum*, en enero 2016, que muestra como el 1% más rico del planeta es dueño del 50% de las riquezas acumuladas. GRAY (2016)

sistemas de acción racional para un fin, han moldeado el mundo en el que el *juicio del ingeniero* se vuelve dudoso si no proviene de un entendimiento crítico de su contexto.

El análisis de Habermas parece acertado si se compara con el estado actual de nuestra sociedad. El poder que la tecnociencia alberga, en cuanto a cómo llevamos el modelo de progreso, pide a gritos un replanteamiento de qué consideramos como progreso. Hasta ahora, se han potenciado aspectos como la eficiencia, la efectividad, el éxito y la competencia como los elementos que demuestran la validez de las propuestas tecnológicas y, gracias a eso, la tecnociencia se ha posicionado como el estándar de verdad por ser capaz de elevar los aspectos mencionados hasta un punto crítico, obviando, en su sesgo, el fuerte impacto que tienen estas soluciones abstraídas de las relaciones humanas. Resulta curioso, y alarmante, pensar en que los valores rectores de la conciencia tecnocrática parecen representar, como plantea la serie documental de la BBC: *All watched over by machines of loving grace*, el sueño de las máquinas y no el sueño de la especie humana⁹⁶.

Como mencioné anteriormente, la crítica de Habermas es clara en su denuncia del modelo capitalista y sus consecuencias nefastas para el humano y su entorno. Pero sus propuestas se mantienen en un nivel abstracto, fuera del alcance directo de la ingeniería, por lo tanto, introduce la teoría crítica de la tecnología, enunciada por Feenberg, como el vínculo, o cable a tierra, entre la crítica y su decantación en prácticas nuevas para la disciplina.

Con Feenberg estudiamos conceptos como el *código técnico* y el *sesgo formal*, elementos que permiten encasillar las propuestas de Habermas en terrenos más concretos, *ergo*, más entendibles para la búsqueda ingenieril. Su descripción del código técnico capitalista permite situar la tecnología, y su ambivalencia, como una herramienta del poder hegemónico. Invita a mirar con ojo crítico el proceso generativo de nuevas tecnologías, dando énfasis a la necesidad de integrar a la práctica los elementos sociales que poco a poco han sido alejados, ya que en ellos se alberga la esperanza de construir una tecnociencia sucesora, capaz de devolver a la sociedad el poder emancipatorio de la tecnología. La idea de sesgo formal reafirma lo recientemente enunciado en el sentido de que le da nombre a la estrategia con que la tecnología capitalista se ha mantenido vigente a lo largo del tiempo. Es un llamado a hacer clara la intención tras el diseño e implementación de nuevas tecnologías, rechazando, como principio, la falsa neutralidad, entendiendo que ésta existe sólo como una forma de mantener lejos del escrutinio y dirección pública el proceso generativo de tecnologías.

A partir de estos elementos, Feenberg propone la teoría crítica de la tecnología a través de la doble instrumentalización. Enuncia cuatro momentos, de abstracción e integración, que permitan, de ser aplicados en conjunto, la construcción de una tecnología no sesgada, en contexto y en función de su rol social. El foco, tras la reformulación de cómo entendemos la tecnología en sociedad, estructura el camino para la construcción de un nuevo código técnico, basado en valores y fines que responden a las necesidades de una sociedad que busca un progreso integral en cuanto entiende que es ella la que debe fijar hacia donde se espera que llegue este progreso. Un nuevo código técnico permitiría darle un sentido distinto a la búsqueda de nuevas tecnologías y soluciones en todas las disciplinas

⁹⁶ CURTIS (2011) ver la parte 2: "Use and abuse of vegetational concepts"

ligadas a la técnica, dado que los valores que rigen este código son sustancialmente distintos a los valores del código capitalista, permitiendo plantear un futuro crítico de lo ya construido y de lo que pretendemos como forma de integrarnos al mundo devastado por el crecimiento perpetuo y la explotación indiscriminada.

Las propuestas de Feenberg permiten guiar y enmarcar a la buena ingeniería: cómo entendemos la tecnología, las intervenciones técnicas y su fuerte dependencia e impacto en las esferas sociales. De integrar su teoría de la doble instrumentalización en la metodología de la disciplina, las soluciones que surgen serán del calibre tal que responden a las demandas de una sociedad y un entorno en crisis. Sus propuestas, comprendidas en el contexto construido a lo largo de todo mi análisis sobre la ingeniería y la técnica, nos sitúan, como ingenieros, responsables de nuestras acciones en cuanto tenemos a disposición la capacidad de transformar la realidad. Esto no implica hacer a voluntad lo que considere correcto, implica, sino, abrir el espacio para una mirada crítica y descentrada en cuanto la ingeniería no es portadora de todas las verdades y respuestas, sino que es una herramienta que necesita ser comprendida y guiada por una sociedad consciente del impacto social que alberga, además de un profesional capaz de interpretar, críticamente, las necesidades de la sociedad y desde ahí proponer como el conocimiento técnico puede aportar a la resolución de sus conflictos.

Como conjunto, la exploración de la relación entre técnica e ingeniería permite poner en perspectiva el como hasta ahora se ha llevado a cabo el quehacer de un ingeniero. Se ponen en manifiesto los conflictos propios de un modelo económico y de progreso que absorbe la esfera pública y política con una técnica conquistadora de espacios pero carente de soluciones reales a los problemas que escapan su foco; que tiene la necesidad de mantener a flote un crecimiento perpetuo, mediante el desarrollo de tecnologías y soluciones bajo un código técnico enfocado en mantener las desigualdades más que en superarlas; que sigue un ideal de progreso que, directa o indirectamente, degrada el entorno hasta el punto de que el panorama parece albergar un futuro difícil, por decir poco, y catastrófico si se considera la floja respuesta de quienes tienen el poder político, económico y técnico de hacer un cambio. Se pone en perspectiva la influencia de la ingeniería en el desarrollo y asentamiento de este modelo y, al mismo tiempo, se abren las posibilidades de usar el potencial de la disciplina para construir un futuro cualitativamente distinto.

El estudio del caso Andino permite enmarcar la posibilidad de hacer una ingeniería considerablemente distinta. Al comprender los motivos y necesidades, junto a los métodos y significados que surgen en torno a ellos, vimos que existe la posibilidad de plantear una forma de resolver problemas técnicos regidos por valores ajenos al capitalismo. El caso permite contextualizar la práctica técnica en torno a significados que afloran de la conexión existente entre las personas y su entorno, permitiendo dar un sentido nuevo a un acto que a ojos occidental parecería innecesario. El caso Andino no representa un ideal de ingeniería sustentable ya que ésta ingeniería no se rige por un ideal común, replicable a cualquier escala o en cualquier contexto, sino que se considera buena cuando ésta se sitúa en un espacio tal que se define a partir de su entorno al mismo tiempo que permite transformar ese entorno. El caso Andino muestra, entonces, que la ingeniería bien hecha es la ingeniería que no llega desde afuera con sus verdades, sino que construye significados al integrarse horizontalmente en el entorno que será transformado.

Frente al complejo panorama de la ingeniería sometida al capitalismo, se plantea una ingeniería que abraza su historia y prolijidad en cuanto al uso del conocimiento científico para la búsqueda de soluciones. Entiende que las herramientas desarrolladas por la ciencia e implementadas por la técnica son alternativas viables para el desarrollo humano, pero no se detiene someramente en su vínculo con lo social, sino que lo integra a su ciclo productivo como el otro elemento fundamental en la búsqueda de sentido. Una ingeniería de este estilo es crítica en cuanto no cae en el sesgo y cuestiona, constantemente, su actuar; es política en cuanto declara abiertamente la intención tras su trabajo, enuncia y transparenta sus decisiones, sus metas y sus procedimientos; y es consecuente en cuanto entiende la importancia de su entorno, su capacidad de transformarlo y la humildad que debe guiar sus decisiones, encaminadas, siempre, hacía contribuir en la construcción de un mundo mejor.

Ingeniería y sociedad

En la segunda parte, propuse una aproximación a la ingeniería y su contexto desde una perspectiva crítica, originada por el análisis de la sociedad capitalista y sus fuertes influencias en el desarrollo de la disciplina. Se planteó la imposibilidad de entender la relación ingeniería y sociedad desde un punto de vista retirado y puramente técnico, considerando que una visión en esa línea implica un sesgo importante, en cuanto se plantea como verdad, obviando la existencia de un entramado de relaciones sociales. Propuse el entendimiento del individuo como una relación dialógica frente a una monológica como el punto de partida para situar la ingeniería en su contexto. Se consideró que, como un individuo que se forma a partir del diálogo existente con su entorno y los otros partícipes de éste, la ingeniería proviene de un proceso formativo, generado a partir de la interacción de lo técnico con su entorno social y natural. No existe ingeniería a priori de ese encuentro, sino que se origina por la intersección de ambas esferas.

Contraoponer una ingeniería dialogante con su entorno, frente a otra que impone su conocimiento como verdad, implica abrir el espacio para la propuesta de intervenciones técnicas que involucran valores rectores distintos a los que promueve la tecnociencia. Se pueden explorar soluciones que apunten hacia la participación colectiva y activa en los procesos técnicos, que velan por la resolución de necesidades emanadas en la interacción directa con el entorno social, y no a partir de un análisis técnico de éstas. Se plantearían soluciones que buscan brindar las herramientas para la superación de brechas tecnológicas, frente a principios de eficiencia y productividad como medio de generar más para ganar más.

La apertura de los valores rectores para la ingeniería impulsa hacia un desarrollo de ésta más amplio y crítico. No apunta hacia la negación de la eficiencia, la productividad y el perfeccionamiento técnico, ya que sin duda estos valores ayudan al desarrollo de tecnologías amigables con el medio ambiente, en cuanto, por ejemplo, permiten optimizar el uso de recursos y reducir los impactos directos con el entorno natural. Por lo tanto, una ingeniería que sigue esta línea sitúa los valores técnicos y los valores sociales en igualdad de condiciones, asegurando que el diseño e implementación de soluciones se origina de la conversación entre ambos ámbitos, ya que de esta forma, el resultado de las intervenciones técnicas permite transformar la realidad social, dejando atrás la tecnología que mantiene y amplía los mecanismos de control, abriendo paso a una tecnología que empodera y libera.

La ingeniería posicionada en su entorno social, o la ingeniería dialogante con el medio, permite una mirada más amplia sobre cómo queremos buscar solución a las necesidades que emergen. Si no se plantean alternativas a la ingeniería tradicional, ligada fuertemente, con o sin intención, al avasallador avance de la tecnociencia, las alternativas para superar la crisis socioambiental se reducen a mantener un *status quo* que prioriza el desarrollo económico desigual, la perpetuación de las brechas tecnológicas y la desinformación de una sociedad sumergida en una tecnología que plantea soluciones adormecedoras. En cambio, posicionar la ingeniería en el diálogo con el entorno que le da sentido, permite el avance hacia soluciones enraizadas en su contexto, respondiendo a necesidades que parecen representar, de mejor manera, la búsqueda de independencia y bienestar social. La tecnología que emerge desde este punto de vista, plantea la posibilidad de construir un futuro donde las herramientas tecnológicas, la integración de éstas en su entorno social y las posibilidades que se generan a partir de ese hecho, son uno de los caminos hacia un desarrollo económico basado en la equidad y la reciprocidad, la superación de la brecha tecnológica y la generación de tecnología con potencial emancipador.

A partir de lo propuesto, la segunda sección de la relación ingeniería y sociedad, busca delimitar lo que hasta ahora se ha entendido como contexto o entorno. La ecología social plantea un marco de referencia con un sentido integrador, buscando representar la interconexión existente entre lo humano y lo que interactúa con él, ampliando en este ejercicio la visión fría y simplificadora de una ciencia que corta los vínculos entre el humano y su entorno, posicionando al primero en un lugar aventajado y central.

La ecología social, y sus planteamientos sobre el ambiente, permiten posicionar a la ingeniería sustentable en un espacio donde hay lugar para incorporar elementos de mayor complejidad en su entendimiento del entorno. Si quisiéramos hacer la ingeniería propuesta, bajo el punto de vista tradicional, que separa al humano de su ambiente, nos encontraríamos con un terreno poco fértil para propuestas de carácter social, dado que esa ingeniería se considera por sobre las relaciones humano-ambiente, proponiendo a partir de su entendimiento técnico de la realidad y relegando a una segunda categoría los elementos propios de una visión no antropocéntrica e integradora.

De considerar los principios y axiomas de la ecología social, el ambiente en el que se plantea la disciplina tiene directa relación con los elementos propuestos a partir de una ingeniería dialogante. El sistema humano y el sistema ambiental, se hacen responsables de la complejidad inherente a su estudio, entendiendo que no pueden ser vistos como elementos diferenciados en su totalidad, sino que como complementos de un todo más grande, permitiendo sacar a luz principios no valorados por el modo capitalista, pero esenciales para una propuesta de ingeniería basada en lo social.

Resulta, entonces, necesario para una buena ingeniería, el estudio responsable y crítico del ambiente en el que pretende intervenir. Como mencioné anteriormente, el rol de un ingeniero radica en el ejercicio de integrarse en el contexto, comprender sus dinámicas, sus necesidades y restricciones, y a partir de ese estudio, proponer las intervenciones técnicas que permitan la resolución responsable de una necesidad específica. La ingeniería en contexto aporta el modo de actuar y cómo considerar los distintos elementos que participan en la interacción,

mientras la ecología social permite delimitar el ambiente, y en consecuencia, los agentes que participan en la generación de necesidades y en la toma de decisiones para su resolución.

Con la incorporación de elementos como los sistemas sociotécnicos, la ingeniería heterogénea, la simetría generalizada y la tecnología entendida en una red de asociaciones, se delimitó de mejor manera la forma en que se pueden entender las relaciones entre ingeniería y sociedad. Al considerar la red de asociaciones como un todo, donde los distintos actores cobran sentido mediante la forma en que se enlazan e interactúan entre ellos, la tecnología se hace contingente a la sociedad y el medio ambiente. Abstraerla, entonces, de la red para darle sentido por sí misma implicaría romper la red y quitarle el sentido a todo el entramado social propio de las relaciones existentes entre tecnología, sociedad y naturaleza. Surge entonces la necesidad de que la ingeniería, apelando a la heterogeneidad de sus decisiones en cuanto es capaz de ensamblar elementos técnicos, sociales y ambientales en redes de asociaciones, se integre al medio que pretende transformar, valorando por igual a todos los actores de la red al tiempo que se ubica, de manera consecuente al origen en común, en igualdad de condiciones con ellos.

Bajo esa mirada, la ingeniería ya no implicaría una abstracción de los problemas técnicos de su entorno, luego, las soluciones que emergen del estudio de dichos problemas responden directamente del entramado de relaciones conformado y en consecuencia permiten un empoderamiento social de lo técnico en cuanto la tecnología desarrollada se diseña por y para el contexto, al tiempo que abre el espacio para un planteamiento más consiente de la relación de la técnica con la naturaleza en cuanto ésta es considerada como un actor en igualdad de condiciones con el humano.

En conjunto a la ingeniería crítica, política y consiente, propuesta a partir de la relación ingeniería y técnica, el estudio de la ingeniería y la sociedad agregan a esta mezcla el elemento del contexto. Una ingeniería de este corte, no sólo se plantea activa frente al cuestionamiento de lo que guía sus decisiones y cómo éstas influyen en su entorno, sino que integra en su metodología la importancia de que su conocimiento esté en contexto, dado que entiende que es a partir de él que la ingeniería cobra sentido. Luego, si se considera de ésta forma, la complejidad del ambiente brinda el sustrato donde las propuestas sociales tienen espacio para desarrollarse, ya que al reconocer la interdependencia existente entre ingeniería y contexto, como ambos se ven influenciados y transformados mutuamente, las propuestas originadas desde este punto de vista van más allá de la simple solución de un problema y sientan las bases para establecer relaciones entre humanos que trascienden la dominación en pos de la cooperación.

Ingeniería y naturaleza

En la tercera parte del trabajo, presenté los argumentos de Gudynas sobre la estrecha relación existente entre la ingeniería, el concepto de desarrollo y la forma que tenemos como sociedad de entender la naturaleza. Los argumentos se alimentan principalmente de lo trabajado en torno a la relación ingeniería y sociedad, haciendo énfasis en cómo la ecología social define el ambiente y el vínculo existente entre lo social y lo natural a partir del humano.

El desarrollo y la naturaleza planteados como una relación dialéctica permiten desarrollar dos conceptos que tienen vital importancia en cómo se puede estructurar una ingeniería responsable de cara al desafío de superar la crisis socioambiental.

En primer lugar, el relato que explica la evolución del concepto occidental de naturaleza y sus respectivas formas de desarrollo, permiten contextualizar el camino que ha tomado nuestra sociedad hasta alcanzar el estado actual. Vimos como poco a poco emergieron ideas ligadas fuertemente al ideal del progreso tecnocientífico y su potencial respuesta a las necesidades humanas, desplazando concepciones antiguas y enraizadas en elementos místicos, por el creciente potencial de disposición técnico, originado en el entendimiento mecanicista del mundo natural. El humano occidental se armó de herramientas que le permitieron dar un giro a la naturaleza indómita hasta reducirla a meros elementos descontextualizados y explotables por el aparato productivo. Pese a esto, el avance de la técnica y la ciencia trajo consigo un progreso en cuanto muchos de los problemas relacionados con el mundo pre-científico ya encontraron solución.

Pero el coste que ha pagado el ambiente, al igual que una gran porción del mundo que no recibe los beneficios del progreso tecnocientífico, pone en juicio las decisiones que como sociedad occidental se tomaron. El problema se profundiza cuando se hizo evidente, en la década de 1960, que los impactos sobre el medio ambiente, originados en el modelo de producción industrial y en el modelo económico capitalista, encaminaron el hasta ese momento intocable progreso tecnocientífico directo hacia el abismo. En ese momento, el modelo de desarrollo, originado a partir de la naturaleza entendida como una máquina cargada con un *stock* de recursos explotables, avanzaba con tanta inercia que cuando se tornó claro que el panorama era complejo, por decir poco, en vez de detenerse a pensar y planificar cómo deberíamos enfrentar la crisis, éste la maquilló a partir de la economía de libre mercado, integrando en sus principios la fragilidad y finitud del planeta, pero no haciéndose cargo de la necesidad real de transformar los medios productivos, o al menos cuestionar la necesidad de mantenerlos.

La naturaleza es ahora entendida como un mercado de recursos naturales, donde éstos son vendidos al mejor postor, considerando la posibilidad de inversión y la capacidad de generar capital a partir del usufructo de los recursos adquiridos. Ya que se considera que el desarrollo económico es necesario para el desarrollo social o para salvaguardar la naturaleza en crisis. Un desarrollo que responde a esa naturaleza no apunta directamente a la superación de la crisis socioambiental, es más, sólo contribuye a la mantención de la desigualdad y el sinfín de problemas que ésta encarna.

El segundo punto se desprende directamente del relato de naturaleza y desarrollo comentado. Al analizar este vínculo, vemos que la ingeniería tiene un rol importante en el planteamiento y posterior concreción del modelo de desarrollo. Si se busca construir una concepción nueva de naturaleza, a partir de elementos como los desarrollados en este trabajo, también es necesario plantear una vía de desarrollo afín. Para eso, es fundamental que la ingeniería sea capaz de reconstruirse en torno a nuevos valores ligados a prácticas sustentables, ecológicas, y en el lado social, equitativas y solidarias. De ser así, su contribución en la búsqueda de un desarrollo responsable se hará palpable en las tecnologías generadas a partir de la ingeniería descrita hasta ahora: crítica, consciente, politizada y en contexto.

El análisis de las propuestas de diseño, agrupadas en el *diseño de la cuna a la cuna*, cumple la función de servir como enlace entre elementos abstractos, como las ideas de naturaleza, desarrollo y sustentabilidad, con los elementos más prácticos ligados a la ingeniería. Ésta metodología sirve, además, como marco de referencia, y ejemplo, de cómo integrar nuevos valores al proceso de diseño de productos y servicios, dado que en su origen cuestiona los métodos actuales, proponiendo a partir de una visión de mundo sustancialmente distinta a la capitalista y generando a partir de ahí el sustento teórico que permite soluciones fuera de lo habitual.

Para la ingeniería, el *diseño de la cuna a la cuna* aporta con principios y ejemplos técnicos de soluciones guiadas por valores ligados a lo sustentable. La eliminación del desperdicio como concepto, integrando en el proceso de diseño la lógica de que todo recurso, al culminar su ciclo útil, debe volver a ser parte de los ciclos productivos, el aprovechamiento y optimización de las fuentes energéticas, enfatizando el uso de energías renovables y la búsqueda de soluciones en base a generar abundancia en todos los sentidos posibles, permiten posicionarse en terreno fértil para la ingeniería sustentable y su intención de construir una sociedad mejor.

En la misma línea, el caso de Kalundborg y su éxito en unir la conservación o el trato responsable del medio ambiente con el interés industrial, permiten situar de mejor manera las propuestas provenientes de la relación ingeniería-sociedad-naturaleza. Cuando se considera el principio de simbiosis como una red de flujos materiales y de conocimiento, junto a la ingeniería en contexto y los potenciales de una tecnología que hace *mímesis* de la naturaleza para encontrar soluciones, resulta claro situar los esfuerzos de una ingeniería a un nivel local y contingente a las necesidades de su entorno directo. Si se construyen redes sociotécnicas en torno a la necesidad de generar un desarrollo que permita combatir la desigualdad y explotación social, al tiempo que se conserva y regenera el ambiente, la ingeniería cobra un rol fundamental en el diseño y mantención de dichas redes, ya que en su práctica contiene la capacidad de enlazar elementos heterogéneos en redes robustas y resistentes a la disociación. En palabras más simples, la ingeniería puede aportar en el diseño de tecnologías que respondan directamente a las necesidades locales, en lo social y en lo ambiental, a modo de empoderar a una sociedad que busca superar la crisis con sus propias manos. El llamado de una ingeniería enfocada más en las soluciones locales no debe tomarse como una vuelta hacia adentro en el sentido de cerrar las fronteras, aislar los espacios y dedicarse a buscar solución sólo a los problemas propios de cada localidad. La idea de las redes sociotécnicas invita a generar lazos entre elementos de dicha red, en consecuencia se busca plantear soluciones que permitan compartir los productos de la ingeniería, distribuyendo el esfuerzo al tiempo que se refuerzan la coordinación y la cooperación entre comunidades.

A la par de lo mencionado, lo desarrollado a partir de la relación entre ingeniería y naturaleza llega a completar los elementos que estructuran las bases para una ingeniería sustentable. Si como profesionales del área, incorporamos a nuestros procedimientos elementos nuevos sobre el cómo queremos entender la naturaleza, lograremos construir un base técnica tal que el empoderamiento social es posible y compatible con un futuro de cuidado y respeto con el medio ambiente. Los tres elementos que desarrollé: abundancia, dinamismo y complejidad, son ejemplos de valores extrapolados de la naturaleza que ayudan a encaminar el nuevo concepto de desarrollo que debemos asentar. Si nos dedicamos a observar la

naturaleza, lejos de la explotación y aprovechamiento irresponsable de ésta, encontraremos ejemplos de soluciones, procesos y elementos novedosos para el desarrollo de nuevas tecnologías, acercando de este modo una naturaleza comprendida desde la cooperación con ella más que su explotación. Y en sintonía con esto, a partir de esa búsqueda, lograremos dilucidar la forma de alcanzar un desarrollo responsable y digno de ser heredado por las generaciones que más adelante poblarán el planeta.

Ingeniería sustentable: ¿Dónde empezar?

El estudio realizado sobre la relación entre la ingeniería, la tecnología, la sociedad y la naturaleza evidencia la gran responsabilidad de la disciplina en el estado actual de las cosas. La crisis socioambiental existe, el deterioro alarmante del planeta amenaza todos nuestros estándares al tiempo de que el mundo se divide entre ricos y pobres, entre personas con oportunidades de hacer realidad sus libertades de acción frente a otras que sólo pueden hacer lo que les queda. Un desarrollo tecnológico consciente de estos problemas permite romper las barreras que separan estos mundos al otorgar las posibilidades negadas por el desarrollo desigual. La responsabilidad de generar una base tecnológica como la planteada recae en manos de todas las disciplinas que estudian y desarrollan los vínculos entre la tecnología y la sociedad, pero en nuestro caso resulta evidente la influencia de la ingeniería en cuanto ésta se posiciona como un elemento que vincula lo técnico con la heterogeneidad de otros factores influyentes. Es, por lo tanto, deber de la academia el formar individuos críticos y reflexivos de las alternativas que tienen con el conocimiento que han adquirido y, por sobre todo, individuos conscientes de la gran responsabilidad que tendrán sus decisiones en un futuro en crisis.

La vía, entonces, de asentar una ingeniería sustentable como la que se ha planteado en este trabajo es mediante la formación de profesionales que logren aunar el conocimiento técnico necesario para plantear soluciones desde la ingeniería junto al pensamiento crítico y reflexivo sobre como entienden el mundo desde la disciplina. No basta formar ingenieros e ingenieras excepcionales en la resolución de ecuaciones o el diseño de puentes o procesos, sino que necesitamos individuos capaces de hacer todo eso al tiempo que son críticos respecto a cómo implementarían sus diseños. La o el profesional no debe responder a la pregunta de *cómo* hacer tecnología sino a la pregunta de *qué* tecnología corresponde.⁹⁷ Es decir, no basta el conocimiento técnico en el diseño de aparatos o procesos, sino que es necesario que quien lleva a cabo la labor de ingeniería sea capaz de situarse en contexto e incorporar en su toma de decisiones factores como el ambiente, lo político, lo cultural, etc.

Algunos autores han argumentado de la necesidad del pensamiento crítico en la formación de ingenieros e ingenieras, por ejemplo, Andrés Mejía argumenta que la ingeniería necesita de un pensamiento crítico adecuado para su rango de acción, poniendo énfasis en que en la actualidad se desarrolla sólo una parte de las posibilidades que abre este tipo de pensamiento.⁹⁸ Postula que existen tres esferas de acción para el pensamiento crítico en ingeniería: 1. El uso inteligente de las herramientas de la ingeniería; refiriéndose a que el profesional debe hacer uso de su juicio en la forma en que aplica las herramientas (provenientes de las ciencias naturales y las matemáticas) para un problema dado. El pensamiento crítico en esta esfera proviene, entonces, de que el juicio de quien hace uso de la herramienta debe ser reflexivo y razonable en cuanto debe dar un uso inteligente de ésta. 2. El contraste entre diferentes herramientas de ingeniería; que corresponde a la capacidad de elegir una herramienta sobre otra poniendo atención a las necesidades técnicas que requiere el problema. Finalmente, Mejía propone una tercera esfera, tal vez la más importante y la menos desarrollada en la ingeniería: 3. Entender los proyectos de ingeniería como intervenciones en sistemas sociales, esfera que hace

⁹⁷ SILLER (2001)

⁹⁸ MEJÍA (2009)

eco de las propuestas planteadas en torno a la relación de la ingeniería y la sociedad como redes que se articulan y definen en conjunto. El pensamiento crítico radica aquí en la necesidad de que el o la profesional sea capaz de integrarse en los sistemas sociales a modo de proponer desde adentro y no desde una perspectiva abstraída del entramado social.

Robert Ruprecht argumenta sobre la necesidad de incorporar en los programas de ingeniería estudios relacionados a las humanidades bajo el alero de que a partir de ahí se desarrollan la amplitud, la modestia y la responsabilidad⁹⁹, actitudes claves para dar contexto y profundidad a las materias de carácter técnico. Propone, también, que los estudios en humanidades deben considerarse a la par de las materias técnicas en disciplinas como la ingeniería ya que no deben ser consideradas “habilidades blandas” como se suele comentar en los círculos científicos más puristas. Argumenta de que son “blandas” en el sentido de que están siempre abiertas a la interpretación a diferencia de datos “duros” como las propiedades de un material o la viscosidad de un fluido, pero que en esa amplitud de interpretación radica su riqueza e importancia ya que abren el espacio para incorporar pensamiento complejo en el estudio de casos o en el diseño de alternativas técnicas, proporcionando habilidades valiosas para que un profesional de la ingeniería se enfrente a los problemas de manera crítica y responsable.

Bajo esa línea argumentativa es que quiero plantear dos vías para la incorporación de las bases filosóficas propuestas para una ingeniería sustentable: el desarrollo de estudios transversales en humanidades y ciencias sociales para profesionales de la tecnología y el trabajo en proyectos en contexto. Cabe mencionar que las propuestas que describiré a continuación se enmarcan en mi experiencia en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM) de la Universidad de Chile, específicamente en los dos primeros años de plan común y los cuatro años en el Departamento de Ingeniería Química y Biotecnología (DIQBT).

Estudios transversales en humanidades y ciencias sociales

Como mencioné recientemente, el estudio de materias humanistas en la malla curricular de ingeniería aporta precisamente a completar el vacío que deja una educación centrada únicamente en el desarrollo de competencias tecnocientíficas. Ya que el complemento de ambas disciplinas permite formar profesionales que integran en su desempeño y toma de decisiones factores que el conocimiento tecnocientífico puro no es capaz de dimensionar. Si consideramos lo propuesto en la relación Ingeniería y Técnica, el desarrollo de cualquier acto técnico o intervención de ingeniería debería traer consigo una valoración ética y una reflexión ideológica en cuanto los resultados de dicha intervención se ven reflejados directamente en el entorno social y medio ambiental. Si estos factores éticos y/o ideológicos son consideradas secundarias en cómo se trata un problema de ingeniería, el resultado final tenderá necesariamente a generar conflicto y problemas ligados al sesgo tecnocrático inherente a una tecnociencia que no está integrada en la sociedad. Del mismo modo, si en la formación de profesionales de la ingeniería se da énfasis únicamente en el desarrollo de competencias “duras”, los estudiantes poco a poco perderán la sensibilidad de observar y reflexionar sobre el entorno en donde se desenvolverán en un futuro.

⁹⁹ RUPRECHT (1997)

El estudio de las ciencias de la ingeniería, de las matemáticas y la física es altamente abstracto en el sentido de que se deja de trabajar con elementos ligados a una realidad vivida y se estudian tópicos basados en la abstracción e idealización de fenómenos, por ejemplo, interacciones fisicoquímicas o propiedades de la transferencia de energía en las ciencias de la ingeniería o materias de estudio aún más alejadas de la realidad. Con lo que se pierde todo vínculo con alguna experiencia material, al desenvolverse, por ejemplo, en torno a tópicos tan abstractos como el cálculo multidimensional, la física de partículas subatómicas u otros temas ligados a la matemática y la física avanzadas. El estudio de estas materias no implica ningún problema por sí mismo, su desarrollo y perfeccionamiento sin duda ha significado avances en materias relevantes como la ingeniería y la medicina, pero cuando el foco se da únicamente en el desarrollo de competencias y habilidades en torno a la abstracción de la realidad, el sujeto que está aprendiendo mediante esa experiencia puede perder los vínculos que unen su realidad con el mundo que ve representado por números y fórmulas. No hablo, con este argumento, de que quienes dedican su vida al estudio de ciencias abstractas pierdan toda conexión con la realidad, sino que se tornan difusos los límites entre el mundo idealizado de las fórmulas con el mundo altamente complejo y variable de la realidad en donde esas fórmulas se aplican.

Con el complemento de estudios humanistas sobre ciencia y tecnología, que permiten dar perspectiva histórica, analizar, generar discusión en torno a cómo se aplican y que impacto tiene el conocimiento abstracto en la realidad y poner en contexto con el fin de revisar posturas rígidas o descontextualizadas, es posible encontrar un equilibrio entre la abstracción de la ciencia y los resultados de esa misma ciencia aplicada. Ahora, si se consideran los elementos trabajados hasta ahora, podría decirse que la ingeniería es justamente una de las disciplinas que se posiciona en un punto intermedio entre las ciencias abstractas y las ciencias sociales y humanidades, ya que sirve de puente entre el conocimiento idealizado y la experiencia vivida, permitiendo aplicar la ciencia en la diversidad de panoramas propios de una realidad compleja y cambiante.

En un plano más concreto, el desarrollo de estudios transversales en humanidades y ciencias sociales, a la par de los estudios en ciencias y tecnologías, permitiría formar profesionales capaces de enfrentarse a los problemas de manera crítica y consciente del impacto que tienen sus decisiones. Un ejemplo de incorporación de un plan de estudios en humanidades para ingeniería, que vale la pena analizar, es el del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), en donde se les exige a los estudiantes cumplir con un requerimiento mínimo de cursos sobre humanidades, arte y ciencias sociales (25% del total de cursos en pregrado)¹⁰⁰. El MIT propone que los estudios en estas áreas permiten a sus estudiantes “empoderarse para el éxito, sirviendo al mundo de buena manera, con innovaciones y vidas que son ricas en significado y sabiduría”¹⁰¹ y en lo concreto aportan con capacidades como el pensamiento crítico, habilidades comunicativas, perspectivas histórico-culturales, manejo fluido del lenguaje y conocimiento sobre las fuerzas político-económicas. Las capacidades propuestas efectivamente contribuirían positivamente a formar profesionales con una amplitud de mira mayor, capaces de tomar decisiones en función de un espectro más integral de las necesidades de una sociedad reflejadas en la tecnología.

¹⁰⁰ *The HASS requirement*, consultado en: web.mit.edu/hassreq/

¹⁰¹ <https://shass.mit.edu/undergraduate/tour>

En cuanto a si la propuesta del MIT sirve como ejemplo para la formación de ingenieros que respondan a las ideas desarrolladas en este trabajo, me atrevería a decir que sí en lo relacionado a la profundidad y amplitud con la que se desarrollan las materias en humanidades en la formación de profesionales de la tecnología. El MIT propone a sus alumnos que cumplan con el requisito mínimo en asignaturas en el requerimiento *HASS*, pero también ofrece la posibilidad de que los alumnos profundicen en estas áreas con la posibilidad de desarrollar *minors* y/o *majors* en disciplinas como antropología, estudios de medios de comunicación, lingüística, historia, literatura, música, filosofía, ciencias políticas, estudios CTS¹⁰², teatro y estudios de género. Sin duda la profundización en estas áreas aporta a descentrar de las ciencias la formación de profesionales de la ingeniería, pero por sí mismas no son suficientes para formar ingenieros que sean capaces de afrontar y superar la crisis socioambiental planteada. El segundo elemento fundamental para complementar los estudios en humanidades es el desarrollo de proyectos prácticos ligados a la vinculación con el medio y la transferencia tecnológica.

Retomando la importancia de los estudios en humanidades para ingenieros, de las disciplinas que el MIT propone, algunas son, según mi criterio, de vital importancia para una ingeniería sustentable. La antropología permite a un profesional de la tecnología comprender el contexto cultural y humano que se forma en torno a cualquier intervención tecnológica. Un profesional de la ingeniería que opera ciego a la realidad cultural en donde pretende actuar genera propuestas que no surgen desde el interior a esa realidad y solo se adaptan a ella. La antropología permite comprender el desarrollo de una tecnología en el tiempo, dar sentido a por qué es de una forma y no de otra y como ésta a su vez moldea y transforma la realidad, generando un nuevo panorama y por ende nuevas necesidades que satisfacer. Esta disciplina, entonces, permite a una ingeniería sustentable proponer soluciones que se originan de la interacción y comprensión con el medio cultural, son propuestas en contexto, porque entiende que propuestas de ese estilo son las que realmente permiten dar solución a las problemáticas socioambientales propias de la civilización occidental en crisis.

La historia permite a un profesional de la tecnología comprender el contexto histórico y social de una cultura o tecnología, generando perspectiva en cuanto a las posibilidades y vivencias propias del contexto en donde la ingeniería o la tecnología pretende actuar. Si se desconoce la experiencia y la historia propias de la gente o colectivos partícipes, la ingeniería es ciega, nuevamente, al contexto, proponiendo desde afuera y proponiendo, incluso, soluciones que ya fueron implementadas en el pasado, recayendo en lógicas paternalistas que pueden dar solución técnica a las necesidades emergentes, pero no logran trascender el conflicto social propio de una tecnología que no se hace a partir del diálogo sino que llega desde arriba y dicta sus respuestas.

La sociología aún y expande los aportes de la historia y la antropología. Los estudios en esta disciplina permiten a los profesionales de la tecnología comprender las dinámicas sociales propias de cada contexto a intervenir. Con esto se vuelve evidente como la tecnología afecta y es afectada por su contexto social, como toda relación humano – humano, humano – tecnología y humano – naturaleza es resultado de una interacción social y por qué este hecho es tan importante para una comprensión integral del problema que se busca solucionar.

¹⁰² Ciencia, Tecnología y Sociedad.

Si la historia y la antropología nos permiten entender el cómo y el porqué de un contexto particular, la sociología nos permite comprender las dinámicas internas que mantienen en funcionamiento ese contexto, permitiendo a una ingeniería sustentable entrar en ese espacio de manera que no imponga nuevas lógicas, sino que las comprenda y trabaje en conjunto para transformarlas.

Estas tres disciplinas permiten a una nueva ingeniería proponer con un conocimiento más íntegro del contexto en donde se da una tecnología, ayudan a llenar el vacío que deja la ingeniería *a priori* comentada anteriormente, ya que el conocimiento en éstas áreas es precisamente el reconocimiento del contexto, luego la ingeniería sustentable propone desde ahí, rechazando cualquier solución que se imponga desde afuera al considerarla incompleta y poco real.

La filosofía es una cuarta disciplina que a diferencia de las tres ya comentadas permite desarrollar el pensamiento crítico desde otra perspectiva. Si la antropología, historia y sociología permiten una mejor comprensión del contexto y sus dinámicas internas, la filosofía permite a los profesionales de la tecnología un análisis crítico de sus propias propuestas al reflexionar sobre el origen, validez y finalidad de sus ideas, herramientas o técnicas. La filosofía permite detenerse y pensar en lo que se está haciendo, cuidando de ser consciente de las razones e implicancias de las propuestas ya que de esta forma el profesional es claro y transparente en sus motivaciones, permitiendo así un diálogo abierto y horizontal en cuanto técnicos como otros participantes se posicionan en igualdad de condiciones frente a cualquier intervención. Éste punto es clave para una ingeniería sustentable en los términos planteados en este trabajo, una ingeniería que se considera por sobre el saber popular incurre en el sesgo tecnocrático, abstrayendo sus propuestas del contexto y en consecuencia ampliando las brechas sociales y tecnológicas.

Con estas cuatro disciplinas en mente, y considerando la experiencia de las humanidades en la FCFM, ¿Es transferible la metodología del MIT para nuestra realidad? Lamentablemente, la respuesta es no. La FCFM no tiene los recursos, económicos ni de infraestructura para albergar una escuela de humanidades tan amplia como propone el MIT. Si bien en la FCFM existe un espacio para el desarrollo de contenidos en humanidades, la intención de que los alumnos se formen en estas áreas a la par de su desarrollo en temas tecnocientíficos es inexistente. Los alumnos tienen la posibilidad de optar entre cursos deportivos, humanistas o inglés, generando casos en los que alumnos egresan de sus carreras sin haber cursado un solo crédito en humanidades.

El ejemplo del MIT resulta entonces una especie de meta hacia donde podríamos dirigirnos en cuanto a la amplitud de opciones que brinda. El contenido propio de cada curso o área de estudio depende más del contexto histórico y cultural de nuestra escuela, ya que se busca formar profesionales de la ingeniería en Chile y el ejercicio de sólo copiar lo que se hace afuera, por más exitoso que sea, termina siempre en propuestas a medias. Desde ésta base creo que en la FCFM se debe potenciar el área de humanidades, primero mediante el incentivo a sus estudiantes a desarrollarse en esas áreas, sea en base a un requerimiento o en base a otro tipo de incentivo, al tiempo de que se refuerzan los contenidos bajo una línea que permita dar un sentido crítico y consciente del mundo y como la ingeniería se posiciona en él. Para ese cometido, y pensando en un futuro con una ingeniería sustentable, es imprescindible que los futuros profesionales de la ingeniería se formen en las cuatro áreas propuestas: antropología, historia, sociología y filosofía.

De ser así, se puede asegurar que la ciencia y la tecnología del futuro tendrán al menos la posibilidad de ser cuestionadas y por ende desarrolladas en vías que se alejan de la tecnocracia y su sesgo. Si la ingeniería pretende dar solución a la crisis socioambiental, necesita de profesionales a la altura de generar contenidos que van más allá de lo normado y esperado por un sistema que se conforma con el bienestar económico por sobre el social y ambiental. Se espera también que una educación humanista permita el descentramiento de una ingeniería que ascendió al podio de las profesiones del mundo capitalista, desde donde mira todo hacia abajo, considerando su saber cómo el saber último, ya que de comprender los puntos de vista de la historia, la filosofía y las ciencias sociales, el o la profesional valorará desde el entendimiento lo multidisciplinar, abriendo espacios para la generación de soluciones tan complejas como los problemas que enfrenta.

El pensamiento crítico y reflexivo es clave para lograr que la ingeniería salga de su calidad de mercenaria y comience a proponer desde la sustentabilidad real. Las humanidades complementan desde ese lado el saber de la ciencia y la tecnología, por lo que un equilibrio entre ambos conocimientos es necesario para comenzar a generar un cambio profundo en nuestra sociedad. Así, propongo la necesidad de generar planes transversales en ciencias sociales y humanidades, ya que el estudio responsable y consciente de estas disciplinas, a la par de los cursos en ciencias naturales de las licenciaturas y las especialidades de ingeniería, permiten un desarrollo íntegro de profesionales capaces de plantear un futuro tecnológico distinto. Para lograr eso se requiere potenciar el área de humanidades de la FCFM, generar una escuela que tenga la capacidad de profundizar en temas, generar contenidos propios que ligen las ciencias naturales con las humanidades y ciencias sociales ya que se debe demostrar al alumnado que la ingeniería tradicional no es infalible, que no tiene todas las respuestas y que en lo multidisciplinar radica una posibilidad nueva¹⁰³. Sería ideal que los egresados de la FCFM desarrollen la capacidad de entender de manera orgánica la ciencia y la tecnología que estudian, proponiendo a partir de la visión crítica y consciente, las soluciones que la Universidad de Chile aspira.¹⁰⁴

Desarrollo de proyectos en contexto

Mencioné anteriormente que un segundo elemento esencial para la formación de profesionales de una ingeniería sustentable, capaz de afrontar los desafíos de una sociedad desigual en lo social y explotadora en lo medioambiental, proviene del desarrollo de proyectos de ingeniería en contexto, experiencias prácticas y cercanas a la realidad, donde los alumnos son capaces de afrontar problemas vivenciales, lejos del papel o el control de contenido, y cerca de los problemas concretos de una ciudadanía que quiere empoderarse y/o quiere aportar a salvaguardar el planeta.

La mejor forma de argumentar a favor es a partir de un ejemplo: el desarrollo del proyecto “De aceite a biodiesel: planta de biocombustible y reciclaje para el eco-

¹⁰³ No quiero decir que el área de humanidades en la FCFM sea deficiente, creo que la escuela de ingeniería no le da el crédito que merece, por lo que los esfuerzos de ésta área se diluyen entre el mar de cursos y requerimientos tecnocientíficos.

¹⁰⁴ De los principios orientadores de la Universidad de Chile: “La formación de personas con sentido ético, cívico y de solidaridad social”, o de su misión: “La Universidad asume con vocación de excelencia la formación de personas y la contribución al desarrollo espiritual y material de la nación.” Consultado en: www.uchile.cl

barrio Beauchef¹⁰⁵, del que formo parte y que fue liderado por el grupo de estudio y trabajo Diseño Sustentable. Comenzaré con una breve reseña de la historia y origen del proyecto, para luego comparar el proceso con las propuestas de la ingeniería sustentable enunciadas en este trabajo bajo la matriz del CDIO, metodología de trabajo para la ingeniería que sirve como un buen esqueleto para hacer la comparación.

El proyecto se origina de una práctica profesional desarrollada en enero 2014, dos estudiantes del departamento se dedicaron a estudiar el proceso de reciclaje de aceite en biodiesel, hicieron un análisis de la materia prima y diseños preliminares de dimensionamientos o posibilidades de producción para la facultad. Luego, en el semestre Primavera 2014 comenzó el trabajo del equipo biodiesel, ya conformado, en las pruebas de laboratorio del proceso al tiempo de que se buscaba financiamiento para comenzar a trabajar a una escala piloto. El equipo se dedicó en primera instancia a poner a prueba el proceso ideado en la práctica profesional. Se produjo biodiesel a partir de aceite, iterando el proceso hasta quedar conformes con el resultado final. Se hicieron diagramas y balances de masa para el diseño de una planta capaz de procesar el aceite proveniente del casino de la facultad, pensando siempre en generar espacios ecológicos, donde se puede enseñar en la práctica el funcionamiento de los equipos y su beneficio ambiental. Ese mismo semestre se participó en un concurso de la ACEE¹⁰⁶ en donde se obtuvo un segundo lugar con el proyecto de una planta piloto, de carácter educativo, para el festival de ingeniería y ciencias a realizarse en Noviembre 2014.

La primera planta piloto se construyó con los fondos obtenidos a partir del concurso de la ACEE, se participó del festival de ingeniería y ciencias, dando a conocer nuestro trabajo con una muy buena acogida: la producción de biodiesel resultaba interesante para niños y adultos, el proceso era prácticamente desconocido y dar solución a un residuo como el aceite fue considerado beneficioso para el público en general. En enero 2015 el trabajo prosiguió con una segunda práctica profesional, donde el equipo se encargó del diseño conceptual de una planta productora de biodiesel a nivel municipal. Se diseñó la planta con la idea de trabajar en conjunto a la municipalidad de Santiago, utilizando las dependencias del parque O'Higgins para el emplazamiento de una planta capaz de producir aproximadamente 3000 m³ al mes de biocombustible. En este momento del proyecto, la iniciativa incipiente de generar espacios de educación ambiental se consolidó y se transformó en el sello de las propuestas del equipo biodiesel. La planta construida para el festival de ingeniería fue el primer acercamiento a una propuesta de ese estilo, cuidando que el diseño sea amigable, visible e informativo, porque se busca que exista una transferencia del conocimiento entre nosotros, los técnicos, y el público participante. Volviendo a la planta municipal, el diseño se enfocó en los mismos aspectos pero a una escala mayor, la planta fue ideada como una cúpula de vidrio para que la operación en su interior fuese visible al transeúnte, generando la posibilidad de hacerse parte del proceso, cuidando siempre la seguridad por sobre todo. Además, al ser de carácter municipal representaría un esfuerzo colectivo de reciclaje y conciencia ambiental. Si la municipalidad es participante activo de una iniciativa de este estilo, la ciudadanía presta una atención distinta, logrando así subsanar la brecha tecnológica al considerar menos hostil lo ligado a la ciencia aplicada.

¹⁰⁵ Créditos al equipo completo: Javiera Riffo, Catalina Sanchez, Samanta Navea, Matías Valdés, Sebastián Ramírez, Josefa Orellana, Camila Viveros y Manuel Warner.

¹⁰⁶ Asociación Chilena de Eficiencia Energética

Ya en marzo 2015 nos reunimos con la municipalidad para presentarles el proyecto. Lamentablemente la municipalidad no cuenta con recursos suficientes para llevar a cabo un proyecto de esa escala, pero se mostraron muy interesados en concretar un proyecto de reciclaje de aceite pero a una escala menor. Nos incitaron a participar de los fondos de protección ambiental (FPA) que brinda el ministerio de medio ambiente, con la necesidad de asociarse a alguna organización social. Con el FPA en foco, nos contactamos con Claudia Cervantes de la asociación “Vigías del patrimonio” del barrio histórico Beauchef. Les propusimos el diseño e implementación de una planta de reciclaje de aceite en biodiesel pensando en una posterior transferencia a la municipalidad, para que los vecinos puedan hacerse partícipes de la iniciativa ecológica, al tiempo que se educan en materias relacionadas a la ciencia, contribuyen a la descontaminación de su entorno y se empoderan mediante el uso consciente de la tecnología.

Asociados a Vigías del Patrimonio y a la Municipalidad de Santiago postulamos al FPA y quedamos seleccionados, ganando financiamiento para implementar el proyecto diseñado. En marzo 2016, se nos otorgaron los fondos y comenzamos con el trabajo en terreno. El proyecto consta de dos áreas principales: la construcción de una planta productora de combustible y los talleres de producción de biodiesel y reciclaje de aceite.

Hasta este punto el trabajo en el proyecto, salvo momentos particulares, fue principalmente de carácter teórico, en papel. Sabíamos perfectamente como dimensionar un reactor o un decantador, que necesitábamos para que el proceso funcionara, etc. Pero no sabíamos cómo ambientar un contenedor o como instalar una planta y todas las implicancias que tiene el trabajo en terreno. No ahondaré, ahora, demasiado en las especificaciones del trabajo en terreno de la construcción, prefiero dar énfasis a las enseñanzas que surgen de verse enfrentados a desafíos nuevos, alejados, en teoría, de lo que nos enseñan en el aula pero fundamentales para un aprendizaje íntegro de lo que la ingeniería hace en su entorno.

Sobre esto, el centro latinoamericano de aprendizaje y servicio social (CLAYSS), en su programa de apoyo y fortalecimiento para proyectos de aprendizaje-servicio social, enmarcado en el asesoramiento de iniciativas universitarias, plantean una serie de aprendizajes desarrollados en los proyectos de servicio social que nos dan una referencia¹⁰⁷:

1. Desarrollo de prácticas de investigación
2. Antecedentes para la futura inserción laboral
3. Diálogo e intercambio entre disciplinas
4. Reflexión sobre problemáticas sociales
5. Aprendizaje de nuevos conocimientos y habilidades
6. Aplicación de conocimientos y habilidades
7. Trabajo en equipo

¹⁰⁷ CLAYSS (2016, p29 gráfico 12)

De entre los 7 elementos mencionados, destaco principalmente el segundo, cuarto, quinto, sexto y séptimo como los aprendizajes que mejor desarrollamos a lo largo del proyecto. El trabajo práctico, de lidiar con problemas en terreno y con la gestión y organización del trabajo para que cumpla los plazos y normas es un excelente antecedente para la inserción laboral (2). El trabajo desde una iniciativa social, buscando dar solución a una problemática originada y destinada a una comunidad local está relacionado al punto cuatro (4). El trabajo en terreno abre las posibilidades de conocimientos ligados a una ingeniería aplicada que nuestra formación tradicional no brinda (5), del mismo modo, el trabajo en terreno permite aplicar el conocimiento teórico del aula (6). Y claramente, el desarrollo del proyecto como un equipo es un aprendizaje fuerte en la colaboración como grupo humano (7).

Antes de saltar a la comparación de las propuestas de una ingeniería sustentable con la experiencia del trabajo en el proyecto, hay otro elemento enunciado en el estudio de la CLAYSS que permite enmarcar de mejor manera el proyecto y encontrar una guía que permita sistematizar ésta metodología en un futuro.

Proponen que existen al menos cuatro categorías de proyectos de servicio social, una de ellas, “Intercambio / Transferencia de Saberes” se adapta muy bien a lo que hicimos en el proyecto Biodiesel. A continuación copio una sección de la tabla que describe las categorías:

Tabla 2: Descripción de la categoría: Intercambio / transferencia de saberes.¹⁰⁸

Categoría	Clave de la resolución del problema	Rol de la comunidad	Impacto de la acción	Principales desafíos
Intercambio / Transferencia de saberes	Se apunta a que la población destinataria pueda apropiarse de saberes y competencias que les permita atender de manera más efectiva problemáticas sociales. A tal fin resulta necesario un intercambio efectivo en el que el conocimiento científico entra en diálogo con el conocimiento práctico y busca facilitar el abordaje de determinados problemas y generar un mejor posicionamiento de los beneficios frente a los mismos.	Tiende a ser activo, en tanto pueda generarse un verdadero diálogo entre saberes científicos y populares.	Permite la atención del problema en el mediano plazo. Tiende a mejorar la posición de los destinatarios frente a las situaciones problemáticas. Favorece procesos de empoderamiento de los sujetos y los grupos sociales.	Generar verdaderas instancias de intercambio y diálogo entre los saberes científico y popular.

¹⁰⁸ CLAYSS (2016, p26)

Dejaré, por ahora, el comentario de la tabla y su relación con nuestro proyecto ya que una vez lo compare con las propuestas de éste trabajo será más evidente el ejercicio.

Continuando, mencioné que usaría como matriz de comparación la metodología CDIO para la enseñanza de Ingeniería. Son conocidos entre los estudiantes de la FCFM los cuatro pasos del CDIO: Concebir, Diseñar, Implementar y Operar, luego considero que al calzar las propuestas y el proyecto dentro de estas cuatro etapas se harán más evidentes los puntos de encuentro.

Concebir

La concepción de un proyecto de ingeniería o intervención técnica se centra en identificar la problemática a abordar, comprender el contexto, las necesidades y los participantes. En esta etapa se busca delimitar y definir los principios de acción y los requerimientos del problema con el fin de proponer un diseño conceptual de la solución.

En términos de las propuestas de éste trabajo, la etapa de concepción aún principalmente elementos de las relaciones ingeniería y técnica e ingeniería y sociedad. Si consideramos que en esta etapa se busca dar sustento y enmarcar la ingeniería a desarrollar, es aquí donde deben entrar los cuestionamientos levantados desde el análisis crítico de la disciplina desarrollado con el método de la ingeniería, Habermas, Feenberg y el puente Q'eswachaka, además de los elementos entendidos como la ingeniería en contexto, esa que se involucra y resuelve desde adentro.

La etapa de concepción para una ingeniería sustentable parte desde la premisa de que el equipo de trabajo debe integrarse en el contexto en donde pretende actuar. Para partir, se deben responder preguntas que permitan entender un panorama más amplio que las necesidades estrictamente técnicas, por ejemplo: ¿Para quién es este proyecto? ¿Quiénes se benefician?, ¿Dónde se lleva a cabo? ¿Qué experiencia existe en relación a lo que queremos hacer?, ¿Quiénes participan? ¿En qué grado?¹⁰⁹ Un aspecto importante en el proceso de responder estas preguntas y construir ese contexto es que el trabajo es siempre en conjunto con los participantes de la iniciativa. El foco de este proceso inclusivo es exactamente eso, incluir la mayor cantidad de actores en la contextualización o concepción del proyecto. A medida que el ejercicio es transparente y no paternalista, la concepción se desenvolverá en torno a identificar las necesidades reales, dando énfasis en que la ingeniería pretende dar respuesta a una necesidad tan social como técnica. Por ejemplo, el conflicto actual sobre la necesidad de instalar plantas hidroeléctricas en territorios australes, inundando territorios ancestrales de comunidades indígenas, puede ser abordado de una manera distinta si no se saltan las fases de contextualización y concepción del proyecto incluyendo a las mismas comunidades. En casos así, la pregunta sobre la necesidad de la intervención es la primera. ¿Qué es más importante: el respeto hacia la cultura propia de un lugar o la necesidad de energía? Así el diálogo permitiría plantear alternativas a la intervención invasiva, buscando dar una solución más acotada al contexto, o en el caso contrario,

¹⁰⁹ Ver por ejemplo MARTINEZ (2012) donde se detalla una herramienta de análisis que busca dar más profundidad a como se afronta un problema de ingeniería. En las preguntas que el autor hace se ve reflejada la intención que enuncio.

de ser inevitable inundar el territorio, se pueden buscar compensaciones y formas de que el impacto social no desemboque en la destrucción de las comunidades.

Una vez construido el panorama, es necesario ahondar en las dinámicas internas de los participantes del proyecto, ya que se busca que lo técnico se integre para transformar y no se imponga para forzar el cambio, luego se hace evidente la necesidad de que los técnicos manejen, al menos, herramientas para comunicar y llegar a acuerdos colectivos, como por ejemplo la escucha activa y la comprensión del lenguaje proveniente de disciplinas como la antropología y la sociología, ya que en momentos como el descrito es importante comprender las dinámicas desde un lenguaje humano y no matemático.¹¹⁰ Ahora, en base a ese análisis más profundo sobre cómo interactúan los actores, la labor del profesional de la ingeniería radica en proponer desde la comprensión de la red de elementos heterogéneos, ser capaz de aunar los elementos técnicos que podrían dar solución a la necesidad identificada, al tiempo que se comprende la realidad social y ambiental del lugar y momento específico de la aplicación.

En síntesis, una concepción sustentable de un proyecto de ingeniería responde a lo tradicional: proponer la mejor alternativa tecnológica para la necesidad identificada, pero a diferencia de lo normal, esa alternativa surge de un análisis profundo y crítico, cuidando no caer en sesgos y de ser conscientes de las implicancias de la propuesta; surge a partir de una inserción participativa en las dinámicas sociales, desde donde se comprende que se originan las necesidades y hacia donde deben ir las propuestas. En otras palabras, es necesario que la concepción sustentable pueda identificar y actuar con la compleja red de efectos sociales y ambientales además de los efectos económicos y tecnológicos propios de la intervención.

En el proyecto Biodiesel la etapa de concepción se desarrolló entre los meses de octubre y noviembre 2015 para la postulación al FPA. El trabajo consistió en reunirse con la municipalidad y con la asociación de vecinos junto a la construcción de la postulación, armando presupuestos y esqueletos de talleres. El proyecto venía con concepciones previas, frutos del trabajo ya realizado por el equipo, por lo que se planteó a las instituciones en busca de su apoyo y con el objetivo de recopilar opiniones que permitan dar más realidad a la propuesta. El ejercicio pudo ser más participativo e inclusivo, el trabajo lo realizamos el equipo y la postulación fue en nombre de Vigías del Patrimonio pero fue el equipo Biodiesel el que en la práctica concibió el proyecto.

Desde la perspectiva del cuestionamiento y análisis crítico de la propuesta, estimo que se llevó a cabo de buena manera considerando el tiempo y las condiciones. Si bien pudo ser más representativo, en cuanto la participación de todos los actores no fue suficiente, el planteamiento del proyecto fue consciente de que nuestras decisiones provenían desde afuera pero con una intención real de generar un espacio de aprendizaje y transferencia de conocimientos. Propusimos los talleres que creímos necesarios para que el funcionamiento de la planta fuese óptimo e informado, cuidamos de que el lugar escogido fuera cercano, en lo posible,

¹¹⁰ Es importante también comentar que una ingeniería sustentable idealmente trabaja en equipos multidisciplinares, lo principal de que los profesionales de la ingeniería también tengan estudios en ciencias sociales no es con el objetivo de reemplazarlos en equipos de trabajo, sino que el técnico comparta un lenguaje básico con el cientista social, a modo de que el diálogo fluya y se generen instancias creativas.

a los vecinos y sus residencias y propusimos a partir de que los vecinos tengan la posibilidad de participar activamente en el proyecto, tal vez no en su implementación directa, pero si en su posterior operación y funcionamiento.

Sumado a esto, el foco del proyecto gravitó siempre fuera de las lógicas tecnocráticas y/o capitalistas. No existe un fin de lucro, se vela por permitir a una comunidad empoderarse en sus actividades ecológicas, generando las herramientas para que sean ellos mismos los que trabajen y generen el cambio que desean y se aspira a transferir el conocimiento, abriendo con eso el espacio para que los participantes se eduquen y se integren en la discusión desde una igualdad de condiciones.

Si bien la concepción del proyecto pudo ser más fiel a las propuestas de éste trabajo, creo que sirve como un buen ejemplo para una primera aproximación a un proyecto de ingeniería sustentable como se plantea aquí. Las interrogantes planteadas nos eran desconocidas para el momento de empezar el proyecto Biodiesel, luego todo lo que surge es a partir de iniciativas propias e intenciones genuinas de generar espacios de transformación social mediante la ingeniería.

Diseñar

La etapa de diseño corresponde al trabajo que concretiza, en el papel, las propuestas originadas en la concepción. En este momento del proyecto se evalúan las alternativas y se prepara todo lo necesario para la posterior implementación. Las necesidades definidas anteriormente toman forma y se realiza la búsqueda de alternativas tecnológicas que puedan dar solución. En términos más concretos se diseñan los equipos y estructuras, se evalúan las necesidades y fuentes energéticas y la necesidad de personal y como éste se organizará, entre otros elementos.

Ésta etapa suele ser de carácter iterativo, donde el trabajo se enfoca en generar propuestas y evaluarlas a fin de acercarse poco a poco a la solución definitiva para el problema dado. Se pasa desde etapas de diseño preliminar, pruebas de laboratorio y/o piloto hasta encontrar el proceso/tecnología que mejor satisfaga las necesidades específicas concebidas en la etapa anterior. Generalmente se diseña con un objetivo que guía las decisiones: Eficiencia, costo/beneficio, sustentabilidad o factores humanos.

En términos de las propuestas de éste trabajo una etapa de diseño para una ingeniería sustentable, proveniente de la concepción del problema colectiva y participativa, generaría esa dinámica iterativa en un ejercicio de ir y venir entre el trabajo técnico y la evaluación conjunta de éste, ya que, como he repetido constantemente, lo esencial de la ingeniería sustentable es que es partícipe activo del contexto intervenido, luego en ningún momento se aleja de éste porque ya tiene la información necesaria para hacer el trabajo, sino que todo trabajo se hace en conjunto con la comunidad.

Considerando ahora las propuestas de diseño que surgen de ésta etapa, nos encontramos primero con las ideas de Feenberg y su teoría de la doble instrumentalización. El autor nos habla de cómo el código técnico capitalista cosifica lo humano al generar tecnologías que solo abstraen la realidad, obviando su origen social y en consecuencia produciendo tecnologías que sólo amplían la hegemonía. Ahora, si tomamos en cuenta la segunda instrumentalización, la que resignifica la tecnología abstraída en la primera instrumentalización, nos encontramos de cara con

una tecnología que acepta su origen social y que, por ende, propone tecnologías que buscan transformar la realidad social a modo de empoderarla. En términos del trabajo en ingeniería, diseñar con éstas ideas en consideración implica hacer el ejercicio de manera consciente y en la misma línea de lo desarrollado en la concepción. El equipo técnico propone a partir de la abstracción que hace del problema identificado, lo aleja de la realidad para aplicar sus fórmulas y leyes a modo de encontrar un significado y solución técnico, pero luego debe “bajar” esas propuestas a fin de que se puedan adaptar a la realidad social de origen.

En el proyecto Biodiesel, por ejemplo, un elemento que se puede asemejar a un ejercicio de doble instrumentalización se observa en el diseño de la planta en general. Como comenté anteriormente, uno de los focos del proyecto es la educación científica mediante la experiencia directa con equipos de ingeniería. Considerando eso, y el presupuesto, no podíamos diseñar equipos muy sofisticados que requirieran de un entendimiento más acabado sobre cómo funcionan las máquinas o los procesos ya que el resto de los actores del proyecto no dispone de la misma formación que nosotros. Luego es necesario diseñar pensando siempre en que las propuestas deben ser simples y de absorción rápida, por lo que favorecimos diseños con alta visibilidad a modo de que el proceso y su explicación sean ejemplificadoras. Junto a esto, la planta se diseñó con infografías y disposiciones espaciales para ser utilizada como un espacio educativo, entonces el diseño puramente técnico queda en segundo plano al enfrentarse a la necesidad real de que sea accesible a los actores no entendidos en el lenguaje técnico.

La ingeniería heterogénea es un segundo concepto que toma sentido en etapas de diseño de ingeniería. Como vimos en la parte II, la ingeniería heterogénea hace referencia al ejercicio de asociar distintos elementos y actores de una red de tal forma que generen un sistema estable y resistente a la disociación. Es decir, generar una tecnología que se origina a partir de la asociación de los elementos que conforman la red o contexto que la alberga. En el caso de un proyecto de ingeniería sustentable, el ejercicio de los profesionales de ingeniería es exactamente el de hacer ingeniería heterogénea en el sentido de que deben ser capaces de integrar en sus propuestas todos los elementos posibles con el fin de que el producto final sea tal que resiste a la disociación y permite dar sentido y solución a las necesidades identificadas previamente. La simetría generalizada también se hace presente en este ejercicio, es necesario, para ser consecuentes con lo propuesto, considerar a todos los actores de la red en igualdad de condiciones, con énfasis en no caer en el sesgo tecnocrático de considerar los actores técnicos de la red como aportes de mayor validez frente a actores sociales o medioambientales.

En el caso del proyecto Biodiesel, la aplicación de estos principios es parcial. Por un lado, como comenté anteriormente, se consideró al resto de los actores no técnicos en el diseño planteado al adaptarlo e integrarlo según las necesidades del proyecto y la comunidad en relación al foco educativo. Pero pese a eso, el diseño en términos generales, fue trabajado con anterioridad al proyecto y para su aplicación sólo fue adaptado a las nuevas necesidades. Con esto me refiero a que el ejercicio de asociar elementos heterogéneos sólo se dio cuando fue necesario adaptar algunos aspectos del diseño y no como un ejercicio que dio origen al diseño definitivo. Idealmente, el proceso de diseño debió desenvolverse en torno al diálogo con la municipalidad y la asociación de vecinos. Nosotros, claramente, tenemos el conocimiento técnico, pero nos dejamos estar en que nuestras propuestas contenían ya una historia de trabajo y por lo tanto estaban listas para ser implementadas. Al

mismo tiempo, la municipalidad y los vecinos dejaron sólo en nuestras manos el trabajo de diseño, al considerar, tal vez sólo siguiendo lo que generalmente se hace, que “los técnicos o científicos son los que más saben”. Situaciones como ésta dejan ver que en nuestro cotidiano están naturalizadas actitudes que reproducen las brechas tecnológicas y de conocimiento. Los vecinos y la municipalidad tienen tanto que aportar al diseño de un proyecto como lo tenemos nosotros. La solución técnica no es una solución por sí sola, sino que necesita de la realidad que la municipalidad y los vecinos aportan para que cobre sentido.

A partir de la relación ingeniería y naturaleza podemos extraer elementos que también son necesarios para una fase de diseño si se considera una metodología de ingeniería sustentable. En primer lugar surgen las prácticas del diseño de la cuna a la cuna que proponen reformular el cómo se hace diseño a modo de integrar elementos nuevos en ese proceso. Tenemos la idea de generar tecnología o servicios que trabajen bajo el precepto de que no existe el concepto de desecho, de que todo puede ser utilizado para algún fin, reintegrando al ciclo productivo lo que en general es considerado sin valor. Tenemos, además, la idea de integrar en el diseño formas de aprovechamiento de energías renovables no convencionales. Finalmente, tenemos la propuesta de diseñar buscando una *mímesis* con la naturaleza, buscar en ella soluciones que rompan con las lógicas comunes y permitan explorar nuevas fronteras.

Todos estos elementos hacen de la etapa de diseño un ejercicio completamente distinto. De integrar la metodología del diseño de la cuna a la cuna en el proceso de generar propuestas y tecnologías, se podría efectivamente cambiar el paradigma en torno a cómo nos relacionamos con la naturaleza.

Desde esta perspectiva el proyecto Biodiesel responde muy bien a lo planteado. Nuestra forma de trabajar, desde el origen del proyecto y el grupo de estudio Diseño Sustentable, se ha basado en las ideas provenientes de ésta filosofía de diseño. El proyecto fue ideado, por ejemplo, para que sea independiente de la red interconectada para su necesidad energética. La lógica tras esa decisión radica en que si se produce combustible, ¿por qué no usarlo para suplir esa necesidad? Se pensó, para cumplir eso, en integrar un generador que fuese alimentado con el biodiesel producido a fin de que éste genere la energía para alimentar el proceso y los implementos eléctricos necesarios para un buen funcionamiento. Del mismo modo, las bombas para el transporte de fluidos son mecánicas, logrando así una reducción importante en el gasto energético.

Considerando la idea de eliminar el concepto de residuo, el origen del proyecto es prácticamente ese: eliminar el aceite como residuo, transformándolo en un insumo para el proceso y reintegrándolo al ciclo productivo. Ahora, en cuanto a observar la naturaleza y desde ahí proponer tomándola como ejemplo, el proyecto biodiesel no logra ser fiel a ese principio simplemente por ser incompatible, al menos en principio. La idea de *mímesis* con la naturaleza es aplicable, principalmente, al desarrollo de nuevas tecnologías o procesos. En nuestro caso, el proceso de convertir aceite a biodiesel existe en la industria desde hace decenas de años, luego no fue necesario para nosotros innovar en ese ámbito. Pero la aplicación misma del proceso, en su concepción y diseño puede modificarse o replantearse de tal forma que aproveche tácticas que la naturaleza usa constantemente. Esta vez, dada las condiciones y el contexto del proyecto no fue necesario hacer un replanteamiento

tan profundo del proceso, pero en un futuro puede resultar interesante ahondar en esas búsquedas con el fin de generar procesos cada vez más ecológicos.

Implementar y operar

Las últimas etapas las desarrollaré en conjunto, las propuestas de este trabajo se centran principalmente en la concepción y el diseño de proyectos de ingeniería pero hay algunos elementos que pueden ser significativos para resignificar la implementación y la operación ligadas a una ingeniería sustentable.

Volviendo a como la ingeniería sustentable está inmersa en el contexto en donde se desenvuelve, formando redes que aúnan lo técnico con lo social, resulta interesante pensar en cómo una implementación puede surgir desde ese mismo núcleo. Si se produce tecnología para el empoderamiento social, sería lógico que esa misma sociedad sea parte del proceso de construir y hacer funcionar la tecnología que fue diseñada por y para ese contexto. La participación en los procesos tecnológicos es un elemento que considero clave para un avance hacia una sociedad que entiende la tecnología como un elemento propio de sus interacciones y no como algo que “otros crean fuera de mi círculo de influencias”. De ahí la necesidad de que una ingeniería responsable con su origen social involucre a su contexto en todas las etapas del proceso productivo.

Desde la misma perspectiva, la operación de estos procesos o tecnologías diseñados por y para un contexto social único aporta en el mismo vector de generar una sociedad que se empodera de sus capacidades productivas. Generando el espacio para que, mediante el trabajo y la autonomía se rompan las barreras impuestas por el capitalismo y su excesiva necesidad de consumo.

La crisis socioambiental, paradójicamente, abre la posibilidad de generar ese empoderamiento social mediante la tecnología al dirigir los esfuerzos de superación a las manos de la ciudadanía que quiere aportar a solucionar el conflicto. Si se generan los espacios suficientes para que lo local se haga cargo de procesar, reciclar y resignificar los impactos ambientales del día a día, la autonomía de no depender al ciento por ciento de las lógicas normadas por el capitalismo y la industria abre las puertas a una sociedad que entiende su rol y que posee los medios para desarrollarlos activamente.

En lo concreto, proyectos como el que levantamos con Diseño Sustentable, pese a estar muy lejos, aún, de representar a cabalidad las propuestas de este trabajo, es un ejemplo de cómo se pueden lograr instancias que aúnan elementos como el empoderamiento social, el cuidado ambiental y la transferencia tecnológica, elementos todos que permiten acortar las brechas entre técnicos y ciudadanos y en consecuencia, contribuir a la superación de la crisis socioambiental. Por eso la categorización que hace la CLAYSS (**Tabla 2**) sobre proyectos de intercambio/transferencia de saberes se aplica perfectamente a lo desarrollado por nosotros. Plantean que la transferencia de saberes permite a los sujetos o grupos sociales contar con los medios para resolver sus propias problemáticas sociales, empoderando y derribando barreras. Además, plantean que el principal desafío para una buena conclusión de proyectos de ese estilo es lograr una comunicación efectiva entre el saber tecnocientífico y el saber popular, desafío que como equipo Biodiesel enfrentamos y lamentablemente no pudimos sobrellevar completamente.

La comunicación de los saberes tecnocientíficos es extremadamente compleja cuando la sociedad tiene miedo o hasta vergüenza de hacerse parte de esas dinámicas. Es labor de nosotros, profesionales de la tecnología y la ciencia abrir las puertas y disipar los miedos que circulan en torno a nuestras disciplinas, de lo contrario se hará cada vez más difícil alcanzar ese punto donde lo técnico y lo social dejan de estar divididos y comienzan a entenderse como dos caras de una misma moneda.

Volviendo, otros tópicos trabajados como la relación entre naturaleza y desarrollo, con la posibilidad de plantear una nueva forma de desarrollo a partir de un nuevo entendimiento de nuestra relación con la naturaleza, complementada con ejemplos como Kalundborg y su simbiosis industrial, o con ideas como una ingeniería a otra escala, que ya no busca la mega-producción sino que una industria que responde más a las necesidades reales, consciente de los estragos que causa la industrial actual al medioambiente y a la sociedad, permiten situar los proyectos de carácter social en una categoría de necesarios para la superación de la crisis.

El proyecto Biodiesel es un primer intento de estructurar una forma de hacer ingeniería, si bien está incompleto y necesita de trabajo para sistematizarlo y luego replicar su metodología en otros contextos y bajo otras necesidades, logrando así generar espacios de transformación social y ambiental fuerte, sirve, ahora, como sustrato para nuevas alternativas.

Para cerrar este apartado, quiero volver a la importancia del desarrollo de este tipo de proyectos en la formación de profesionales de la ingeniería. Con la descripción del ejemplo del que fui parte, creo que resulta más clara la importancia que puede tener una experiencia así para el avance hacia una ingeniería sustentable. Mi experiencia y motivación a realizar este trabajo nace principalmente de lo realizado en el proyecto, desde ahí surgieron las interrogantes y los conflictos propios de hacer una ingeniería que a mi parecer no respondía a las necesidades reales de la sociedad. Luego considero clave que experiencias como ésta sean compartidas por el o la aspirante a ingeniero o ingeniera.

Entonces, aunando las propuestas radicadas en donde empezar para avanzar hacia una ingeniería sustentable, propongo dos elementos que deben ser centrales en la formación de profesionales de la tecnología, alcanzando así tres pilares que guíen a los estudiantes hacia aplicar, en su futuro laboral, una ingeniería distinta y sustentable.

El primer pilar es la formación tecnocientífica. La ingeniería se distingue de otras disciplinas ligadas a la ciencia por su capacidad de aplicar el conocimiento científico en la producción de nuevos servicios y tecnologías. Es fundamental que la formación en estos temas sea central para todo profesional, ya que es su principal herramienta con la que puede aportar a la resolución de problemáticas en todo ámbito.

El segundo pilar es la formación en disciplinas humanistas y de ciencias sociales. La ingeniería que no es consciente de su origen social incurre en el sesgo de creer que el saber tecnocientífico tiene las capacidades de dar solución a cualquier necesidad de la civilización. En ese sentido, la formación en humanidades y ciencias sociales permite derribar esa barrera ampliando la perspectiva y descentrando de las ciencias el saber de la disciplina. No hablo de que los ingenieros del futuro sean expertos en humanidades o ciencias sociales, sino que

manejen un lenguaje común con esas disciplinas a fin de que sean capaces de entender e integrar en sus procesos productivos de conocimiento elementos que hasta ahora son mirados en menos al considerarlos poco certeros.

El tercer pilar es la formación mediante la experiencia en proyectos de ingeniería ligados a intervenciones en servicio social. Los dos pilares anteriores aportan con el conocimiento teórico para aplicar la ciencia y la tecnología siendo conscientes de cómo afectan al entramado social, pero si un alumno egresa y no tiene experiencia en cómo puede impactar positivamente ese entramado, reproducirá lo normado, perdiendo la posibilidad de explorar alternativas en pos de la superación de la crisis socioambiental. Así se vuelve importante que desde un comienzo en la formación de ingenieros se trabaje en pos de que todo conocimiento sea aplicado en contextos sociales, integrando en las dinámicas de la carrera el servicio que la ingeniería debe brindarle a la sociedad.

Conclusiones

El objetivo central de este trabajo fue explorar las relaciones de la ingeniería con la tecnología, la sociedad y la naturaleza, dado que la necesidad de bases conceptuales para una disciplina práctica como la ingeniería radica justamente en el fuerte impacto que pueden tener sus intervenciones en el entorno.

El estudio de la relación ingeniería y técnica dejó en evidencia tres problemas importantes: 1. La ingeniería no es consciente de su influencia ideológica, permitiendo que en ese sesgo se replique el concepto de explotación. 2. La ingeniería no es consecuente con su responsabilidad frente al entorno, se posiciona por sobre éste y al hacerlo, asume su verdad como absoluta. Y 3. La ingeniería no reconoce su carácter político, en el sentido de que su actuar influye directamente en la sociedad, y se deja ser guiada únicamente por decisiones de carácter estrictamente técnico.

El estudio de la relación ingeniería y sociedad dejó en evidencia dos problemas que necesitan solución si se busca plantear una nueva ingeniería: 1. La ingeniería no integra el contexto social de una intervención técnica en la formulación y posterior implementación de sus soluciones. Y 2. La ingeniería no es capaz de definir con precisión lo que se considera como el contexto social de sus intervenciones.

El estudio de la relación ingeniería y naturaleza dejó en evidencia el problema de la concepción de la naturaleza propia de un modelo de desarrollo explotador. La ingeniería plantea la naturaleza como una bolsa de recursos, transables en un mercado natural y disponibles sólo para el aprovechamiento del hombre, reduciendo su complejidad a los elementos utilizables por el progreso tecnocientífico.

La Tabla 3 resume los principios propuestos como guía de una ingeniería responsable. El cuadro muestra el eje, el principio y la implicancia que tiene para la ingeniería cada uno de los elementos propuestos.

En términos de la ingeniería, como principal conclusión de este trabajo se puede desprender una primera aproximación a una metodología de trabajo en proyectos de ingeniería capaz de enfrentar la crisis socioambiental planteada. La metodología toma como principio la necesidad de hacer ingeniería en el contexto del servicio social, porque se entiende que es desde ahí que se pueden plantear alternativas responsables hacia una sociedad más justa y ecológica.

En términos concretos, del análisis comparado de un proyecto de producción de Biodiesel llevado adelante por estudiantes de ingeniería, bajo la matriz CDIO es posible concluir que para la etapa de concepción, la ingeniería sustentable se integra desde el origen del trabajo en el contexto a intervenir. La propuesta no se origina desde afuera del entorno, sino que en el diálogo con los actores involucrados se identifica la necesidad y se contextualiza la intervención. La ingeniería sustentable, entonces, identifica e interconecta los elementos heterogéneos que forman parte de la necesidad.

La etapa de diseño, pese a ser de carácter técnico en cuanto a los elementos que se proponen (planos, procesos, equipos, necesidades energéticas), debe ir de la mano con un diálogo con los actores sociales que se verán involucrados en la

implementación y operación de la solución propuesta, ya que la ingeniería busca responder a las necesidades de esos actores por igual a la necesidad de proponer tecnologías eficientes y que cumplen su función.

En términos de propuestas de diseño, una ingeniería sustentable busca soluciones que son amigables con el medio ambiente. Prefiere fuentes energéticas no convencionales de cero impactos y si es posible, busca soluciones que en su operación generen un impacto positivo al medio ambiente.

Tabla 3: Resumen de los principios propuestos como base para una ingeniería sustentable.

Eje	Principio	Implicancia
Técnica	Ingeniería crítica	Cuestiona lo que motiva la toma de decisiones; es crítica respecto a sus medios y fines; es consciente de su influencia ideológica.
	Ingeniería politizada	Comprende que sus intervenciones son políticas por que influencia directamente en la sociedad; somete sus propuestas al escrutinio público y colectivo.
	Ingeniería consecuente	Entiende su lugar en la sociedad y en base a eso considera los valores sociales a la par de los valores técnicos.
Sociedad	Ingeniería en contexto	Soluciones adecuadas a las necesidades sociales; de carácter local y dirigidas al empoderamiento tecnológico como vía de superación de la desigualdad social.
Naturaleza	Abundancia	Propone a partir de la libre exploración de posibilidades dado a que entiende que desde la variedad surgen propuestas nuevas.
	Dinamismo	Propone a partir de que ninguna solución es definitiva dado que la tecnología se debe adaptar a la sociedad y a la naturaleza y éstas se comportan más como un proceso que como un hito.
	Complejidad	Propone a partir de que comprende el entorno como un sistema complejo que no puede ser reducido a elementos autónomos sino que sólo puede ser aproximado.

Bibliografía

BANCO MUNDIAL. 2016: REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LAS POLÍTICAS DE SALVAGUARDIA DEL BANCO MUNDIAL. [EN LÍNEA] [HTTPS://GOO.GL/VVB8TH](https://goo.gl/vvB8TH). [ÚLTIMA CONSULTA: 07/10/2016]

BILBAO, G, FUERTES, J & GUIBERT, J. 2006: ÉTICA PARA INGENIEROS. DESCLÉE DE BROUWER.

BIJKER, W. 1995: OF BICYCLES, BAKELITES AND BULBS: TOWARDS A THEORY OF SOCIOTECHNICAL CHANGE. LONDRES, INGLATERRA, THE MIT PRESS.

BRAUNGART, M & MCDONOUGH, W. 2013: THE UPCYCLE: BEYOND SUSTAINABILITY—DESIGNING FOR ABUNDANCE. NORTH POINT PRESS.

BOOKCHIN, M. 2012: REHACER LA SOCIEDAD: SENDEROS HACIA UN FUTURO VERDE. SANTIAGO DE CHILE, LOM EDICIONES.

BOOKCHIN, M. 2015: THE NEXT REVOLUTION: POPULAR ASSEMBLIES THE PROMISE OF DIRECT DEMOCRACY. LONDRES, VERSO.

BOTKIN, D. 1990: DISCORDANT HARMONIES. A NEW ECOLOGY FOR THE TWENTY-FIRST CENTURY. OXFORD, OXFORD UNIVERSITY PRESS.

CALLON, M. 1987: SOCIETY IN THE MAKING: THE STUDY OF TECHNOLOGY AS A TOOL FOR SOCIOLOGICAL ANALYSIS. EN: BIJKER, W, HUGHES, T & PINCH, T. 1887: THE SOCIAL CONSTRUCTION OF TECHNOLOGICAL SYSTEMS. MASSACHUSETTS, MIT PRESS.

CALLON, M & LATOUR, B. 1991: LA SCIENCE TELLE QU'ELLE SE FAIT. ANTHOLOGIE DE LA SOCIOLOGIE DES SCIENCES DE LANGUE ANGLAISE. PARIS, LA DÉCOUVERTE

CHERTOW, M. 2007: "UNCOVERING" INDUSTRIAL SYMBIOSIS. JOURNAL OF INDUSTRIAL ECOLOGY, VOL 11, N°1.

CLAYSS 2016: UNIVERSIDADES SOLIDARIAS. PROGRAMA DE APOYO Y FORTALECIMIENTO DE PROYECTOS DE APRENDIZAJE-SERVICIO SOLIDARIO PARA UNIVERSIDADES DE AMÉRICA LATINA. VOL 2. BUENOS AIRES, COORDINACIÓN EDITORIAL CLAYSS

CURTIS, A, BRAND, S & ANKER, P. 2011: ALL WATCHED OVER BY MACHINES OF LOVING GRACE. BBC PRODUCTIONS. [DOCUMENTAL]

CRADLE TO CRADLE PRODUCT INNOVATION INSTITUTE. 2016: CRADLE TO CRADLE CERTIFIED PRODUCT STANDARD, VERSION 3.1. [EN LÍNEA] [HTTP://GOO.GL/N8O5ZD](http://goo.gl/N8O5ZD) [ÚLTIMA VISITA: 15/07/2016]

DOMENECH, T & DAVIES, M. 2011: STRUCTURE AND MORPHOLOGY OF INDUSTRIAL SYMBIOSIS NETWORKS: THE CASE OF KALUNDBORG. PROCEDIA SOCIAL AND BEHAVIORAL SCIENCES 10 (2011) 79-89.

DURAN, G. 2016: ¿FERRARIS O PENSIONES?, LA DESIGUALDAD UNA VEZ MÁS. DIARIO UCHILE. [EN LÍNEA] [HTTPS://GOO.GL/ZGCTCG](https://goo.gl/ZgCTCG) [ÚLTIMA VISITA: 07/10/2016]

- FEENBERG, A. 2012: TRANSFORMAR LA TECNOLOGÍA: UNA NUEVA VISITA A LA TEORÍA CRÍTICA. BUENOS AIRES, UNIVERSIDAD NACIONAL DE QUILMES.
- FERNÁNDEZ, E. 2004: LAS CIENCIAS SOCIALES EN LA CRÍTICA DE LA TECNOCENCIA. EN: VALERO, J (EDS). SOCIOLOGÍA DE LA CIENCIA. MADRID. EDITORIAL EDAF
- GENESIO, L & OTERO, L. 2012: APROXIMACIONES FILOSÓFICAS Y METODOLÓGICAS PARA UNA INGENIERÍA SOSTENIBLE. REVISTA TECNOLOGÍA Y SOCIEDAD, VOL 1, Nº1. CESIS
- GERTLER, N. 1995: INDUSTRIAL ECOSYSTEMS: DEVELOPING SUSTAINABLE INDUSTRIAL STRUCTURES. M.I.T. CAMBRIDGE, MASSACHUSETTS.
- GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. 2016: WORLD FOOTPRINT: DO WE FIT IN THE PLANET? [EN LÍNEA] [HTTP://GOO.GL/PDJ4BT](http://goo.gl/PDJ4BT) [ÚLTIMA CONSULTA: 15/07/2016]
- GRAY, A. 2016: 3 CHARTS THAT EXPLAIN GLOBAL INEQUALITY. [EN LÍNEA] [HTTPS://GOO.GL/LVEIHH](https://goo.gl/LVEIHH) [ÚLTIMA CONSULTA: 15/07/2016]
- GUDYNAS, E & EVIA, G. 1991: LA PRAXIS POR LA VIDA - INTRODUCCIÓN A LAS METODOLOGÍAS DE LA ECOLOGÍA SOCIAL. MONTEVIDEO, CIPFE - CLAES – NORDAN
- GUDYNAS, E. 1999: CONCEPCIONES DE LA NATURALEZA Y DESARROLLO EN AMÉRICA LATINA. SANTIAGO DE CHILE, REVISTA PERSONA Y SOCIEDAD, 13 (1): 101-125.
- HABERMAS, J. 1965: CONOCIMIENTO E INTERÉS. EN: HABERMAS, J. 2010. CIENCIA Y TÉCNICA COMO “IDEOLOGÍA”. MADRID, EDITORIAL TECNOS.
- HABERMAS, J. 1968: CIENCIA Y TÉCNICA COMO “IDEOLOGÍA”. EN: HABERMAS, J. 2010. CIENCIA Y TÉCNICA COMO “IDEOLOGÍA”. MADRID, EDITORIAL TECNOS.
- HABERMAS, J. 2010: CIENCIA Y TÉCNICA COMO “IDEOLOGÍA”. MADRID, EDITORIAL TECNOS.
- HANARI, Y. 2014: DE ANIMALES A DIOS. BUENOS AIRES, DEBATE.
- HERRERA, A. 2011: LA RECUPERACIÓN DE TECNOLOGÍAS INDÍGENAS. LIMA, PERÚ. UNIVERSIDAD DE LOS ANDES.
- HUGHES, T. 1983: NETWORKS OF POWER. BALTIMORE, THE JOHNS HOPKINS UNIVERSITY PRESS.
- INGOLD, T. 1997: EIGHT THEMES IN THE ANTHROPOLOGY OF TECHNOLOGY. SOCIAL ANALYSIS Nº41
- IPCC, 2014: CAMBIO CLIMÁTICO 2014: IMPACTOS, ADAPTACIÓN Y VULNERABILIDAD – RESUMEN PARA RESPONSABLES DE POLÍTICAS. CONTRIBUCIÓN DEL GRUPO DE TRABAJO II AL QUINTO INFORME DE EVALUACIÓN DEL GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. [EN LÍNEA] [HTTPS://GOO.GL/8Hdv72](https://goo.gl/8Hdv72) [ÚLTIMA CONSULTA: 07/10/2016]
- KOEN, B. 1985: DEFINITION OF ENGINEERING METHOD. AMERICAN SOCIETY FOR ENGINEERING EDUCATION.

LAW, J. 1987: TECHNOLOGY AND HETEROGENEOUS ENGINEERING: THE CASE OF PORTUGUESE EXPANSION. EN: BIJKER, W, HUGHES, T & PINCH, T. 1887: THE SOCIAL CONSTRUCTION OF TECHNOLOGICAL SYSTEMS. MASSACHUSETTS, MIT PRESS.

MARCUSE, H. 1964 (2010): EL HOMBRE UNIDIMENSIONAL: ENSAYO SOBRE LA IDEOLOGÍA DE LA SOCIEDAD INDUSTRIAL AVANZADA. BARCELONA, ARIEL.

MARTINEZ, R. 2012: DILEMAS ÉTICOS EN LA INGENIERÍA QUÍMICA. UNIVERSIDAD DE CHILE. SANTIAGO, CHILE.

MCDONOUGH, W. 2015: ZWC 2015 WILLIAM MCDONOUGH: OPENING KEYNOTE. [VIDEOGRABACIÓN, EN LÍNEA] [HTTPS://GOO.GL/WC4OBO](https://goo.gl/wc4obo) [ÚLTIMA VISITA: 15/07/2016]

MEJÍA, A. 2009: TRES ESFERAS DE ACCIÓN DEL PENSAMIENTO CRÍTICO EN INGENIERÍA. REVISTA IBEROAMERICANA DE EDUCACIÓN. Nº 49/3 – 25 DE ABRIL DE 2009. ORGANIZACIÓN DE ESTADOS IBEROAMERICANOS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA.

MIRANDA, J. 2015: QHANTIR PROYECT. POSTULACIÓN EUREC AWARDS. UNIVERSIDAD DE CHILE. SANTIAGO, CHILE.

NACIONES UNIDAS, 2014: EL CAMINO HACIA LA DIGNIDAD PARA 2030: ACABAR CON LA POBREZA Y TRANSFORMAR VIDAS PROTEGIENDO EL PLANETA. NACIONES UNIDAS.

NACIONES UNIDAS. 2016: [EN LÍNEA] [HTTP://GOO.GL/8QAWSJ](http://goo.gl/8QAWSJ). [ÚLTIMA VISITA 14/07/2016]

NASA - GISTEMP TEAM, 2016: GISS SURFACE TEMPERATURE ANALYSIS (GISTEMP). NASA GODDARD INSTITUTE FOR SPACE STUDIES.

ORTEGA Y GASSET, J. 1939: MEDITACIÓN DE LA TÉCNICA. [CONSULTADO EN LÍNEA] [HTTPS://GOO.GL/NMGHKZ](https://goo.gl/nMGHKZ) [ÚLTIMA CONSULTA: 02/11/2016]

OSORIO, C. 2004: LOS EFECTOS DE LA INGENIERÍA EN EL ASPECTO HUMANO. CONFERENCIA PRESENTADA EN EL XXIX CONVENCION PANAMERICANA DE INGENIERÍA, UPADI 2004. CIUDAD DE MÉXICO. [EN LÍNEA] [HTTPS://GOO.GL/B4PFCS](https://goo.gl/B4PFCS). [ÚLTIMA CONSULTA: 12/10/2016]

OSTRY, J, LOUNGANI, P & FURCERI, D. 2016: NEOLIBERALISM: OVERSOLD?. FINANCE & DEVELOPMENT, FMI. [EN LÍNEA] [HTTPS://GOO.GL/W5CJZX](https://goo.gl/w5CJZX) [ÚLTIMA CONSULTA: 07/10/2016]

PACEY, A. 1983: THE CULTURE OF TECHNOLOGY. CAMBRIDGE, MIT PRESS.

PAWLYN, M. 2011: USING NATURE'S GENIUS IN ARCHITECTURE. [VIDEOGRABACIÓN, EN LÍNEA] [HTTPS://GOO.GL/A7PCXX](https://goo.gl/A7PCXX).

PETERS, J. 2014: PALABRAS AL AIRE: UNA HISTORIA DE LA IDEA DE COMUNICACIÓN. CIUDAD DE MÉXICO, EFE.

RUPRECHT, R. 1997: HUMANITIES IN ENGINEERING EDUCATION. EUROPEAN JOURNAL OF ENGINEERING EDUCATION, 22:4, 363 – 375.

SILLER, T. 2001: SUSTAINABILITY AND CRITICAL THINKING IN CIVIL ENGINEERING CURRICULUM. JOURNAL OF PROFESSIONAL ISSUES IN ENGINEERING EDUCATION AND PRACTICE. JULIO 2001.

TIRADO, F & DOMÈNECH, M. 2005: ASOCIACIONES HETEROGÉNEAS Y ACTANTES: EL GIRO POSTSOCIAL DE LA TEORÍA ACTOR-RED. REVISTA DE ANTROPOLOGÍA IBEROAMERICANA, NÚMERO ESPECIAL NOVIEMBRE – DICIEMBRE 2005. MADRID, ANTROPÓLOGOS IBEROAMERICANOS EN RED

QHAPAQ ÑAN. 2014: EL PUENTE Q'ESWACHAKA. [VIDEOGRABACIÓN, EN LÍNEA] [HTTPS://GOO.GL/JQ3964](https://goo.gl/JQ3964). [ÚLTIMA VISITA: 29/09/2016]

UNESCO. 2010: CONOCIMIENTOS, TÉCNICAS Y RITUALES VINCULADOS A LA RENOVACIÓN ANUAL DEL PUENTE Q'ESWACHAKA. [EN LÍNEA] [HTTPS://GOO.GL/LYZQEB](https://goo.gl/LYZQEB). [ÚLTIMA VISITA: 03/10/2016]

VILLARROEL, R. 2006: LA NATURALEZA COMO TEXTO: HERMENÉUTICA Y CRISIS MEDIOAMBIENTAL. SANTIAGO DE CHILE, EDITORIAL UNIVERSITARIA.

WRIGHT, P. 2002: INTRODUCTION TO ENGINEERING. WILEY