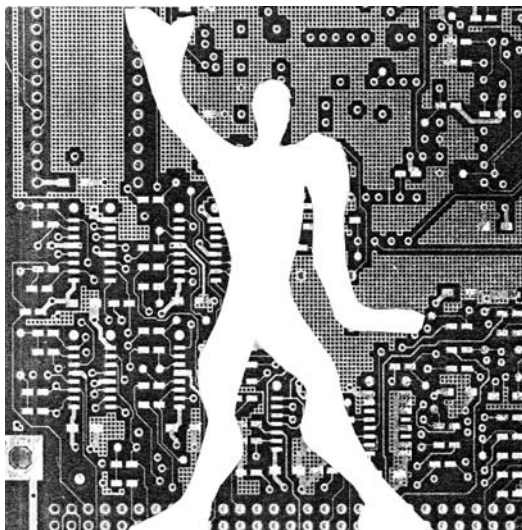


M O D E R N I D A D
E
INGENIERÍA CONTEMPORÁNEA



César LANZA



FUNDACION
ESTEYCO

M O D E R N I D A D
E
INGENIERÍA CONTEMPORÁNEA

César LANZA



FUNDACION
ESTEYCO

© 2003 FUNDACIÓN ESTEYCO

© 2003 César LANZA

Diseño Gráfico: Pilar CARRIZOSA

Fotocomposición, Fotomecánica e Impresión: EUROCOLOR, S.A. Madrid.

Editado por Fundación ESTEYCO. Menéndez Pidal, 17. 28036 Madrid

Impreso en España

ISBN: 84-688-4386-5

D. L.: M-51338-2003

1ª Edición, Diciembre 2003

Portada: Restituto LÓPEZ HERNÁNDEZ

P R E S E N T A C I Ó N

César Lanza y yo hemos conversado con frecuencia —en parsimoniosas sobremesas, casi siempre con la presencia newtoniana de Joaquín Martí, o desaparecidos en la melancólica y estimulante soledad que ofrecen en días laborables los Jardines de la Granja, de El Escorial o de Aranjuez— sobre la aparente ausencia de ideología en nuestra profesión y el contraste con la proliferación de textos ideológicos que, en el entorno de la Arquitectura construida o simplemente soñada, se publican por doquier. Y hemos coincidido en que la ausencia de ideología es una perversión para nuestra hermosa y trascendente profesión de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, que no se puede conformar con mirar al pasado buscando referencias en personalidades excepcionales cuyo prestigio solemos pedir prestado.

Desde la original trayectoria profesional de César Lanza —que es ya declaración ideológica de hondo calado— y desde su talento excepcional, nuestras conversaciones animaron a César a plasmar por escrito algunas de las ideas que él ha ido identificando como vectores para una evolución imprescindible de la profesión y como soporte intelectual de los cambios consiguientes.

Por eso, este breve pero intenso texto tiene un valor indudable. Debería servir para activar entre sus lectores el afán por reflexionar sobre la situación actual de nuestra profesión y de su entorno, y la necesidad de encontrar y explorar nuevos caminos que se abran al futuro. Así se pondrían de manifiesto la diversidad de opciones que se ofrecen a los jóvenes ingenieros que, con unos sólidos, aunque titubeantes conocimientos adquiridos en la Escuela, con una curiosidad insaciable y con un notable espíritu de trabajo tienen que construir su propio destino. Y, al hacerlo, pueden contribuir decisivamente a la evolución de una profesión que decaerá si no lo hacen y se empeñan en discurrir por los caminos trillados y cada vez más congestionados construidos en el pasado.

En todo caso, me consta que César ha disfrutado escribiendo este texto. Yo he disfrutado leyéndolo y sumando al título de su amistad el de editor de su elocuente obra.

N O T A D E L A U T O R

Este cuaderno de notas es un soporte textual que funciona como un yacimiento estratigráfico de material propio y ajeno. Evoluciona según mis preferencias de orden temporal y gusto.

Se permite la reutilización de las ideas depositadas en estos textos, con la condición de que se cite su procedencia.

C é s a r L A N Z A

Septiembre 2003

MODERNIDAD E INGENIERÍA CONTEMPORÁNEA

Ingeniería y Mundo Moderno

1. Ingeniería y mercado
2. La ingeniería en la sociedad del espectáculo
3. La ingeniería y los ideales del crecimiento y la sostenibilidad
4. Ingeniería y tecnologías de la era post-industrial
5. In pura: la innovación como ingeniería pura

C é s a r L A N Z A

I n g e n i e r í a y m u n d o m o d e r n o

"Es preciso ser absolutamente moderno"
Arthur Rimbaud

"Si buscas respuestas a la modernidad, no preguntes en Frankfurt"
Niklas Luhmann

Mundo moderno, bien creemos conocerte quienes adoramos vivir en tu seno. La condición de modernidad que es para algunos negación de la utopía más allá de sus referencias anecdóticas y de sus iconos, ha devenido categoría sociológica. Desde John F. Kennedy a la Internet global las cuatro últimas décadas han visto la aceleración de los cambios alrededor del hombre como el indicio de un proceso de curso incierto. La modernidad no es ahora el privilegio de unos pocos, es aparentemente una exigencia masiva.

Modernidad e ingeniería son términos concomitantes, al menos esa es la tesis que se vindica en estos textos. La ingeniería o profesión de la técnica es una de las bases de la modernidad que se apoya sobre todo en el cambio tecnológico. Entendida en la tradición como el arte de dirigir las fuentes de poder de la Naturaleza hacia el uso y la conveniencia del hombre (U.K. Institution of Civil Engineers, 1928), el protagonismo social de la ingeniería ha ido sin embargo cediendo paso a conceptos más blandos y manipulables tanto en la parte de los hechos como en su representación.

Lo que define a la ingeniería por comparación con otras ramas del saber es su posición de dominio de la concepción y producción de artefactos asociados al progreso humano. Infraestructuras, máquinas o sistemas, son objetos creados por ingenieros que conforman el mundo moderno. Son el hábitat de un modelo de organización social que si en algo se diferencia de lo no-moderno es en su dependencia creciente de lo artificial.

La ingeniería ahora que parece superada la atracción épica que ejercía sobre el público en su papel dominador de la Naturaleza (más o menos cierto, más o menos bueno), se enfrenta a un problema de banalización de su identidad en la consciencia colectiva de sus usuarios. Ello no es tanto por razones de debilidad epistemológica o productiva sino como consecuencia de su aparente transformación en lugar común, en hábito que raramente sorprende en comparación con otros atractivos del mundo moderno. El problema es entonces cómo definir el valor de la ingeniería después de la era de la ingeniería. En apariencia algo común con otras preocupaciones de naturaleza post-histórica que afectan a diversas manifestaciones de la creatividad humana (el arte es otro ejemplo).

Las teorías clásicas de la modernidad descansan en la noción clave de racionalización como causa esencial de la sociedad moderna; racionalización como generalización de la razón técnica, como forma cultural dominante (Feenberg, 2001). Los signos del mundo moderno son sin embargo múltiples y difusos, ocasionalmente contradictorios. La teoría de la racionalidad limitada, un elemento clave en las ciencias de lo artificial que proviene del empirismo (Simon, 1997) reconoce a la tecnología una naturaleza intrínsecamente revolucionaria. Así puede entenderse a lo largo de la historia del mundo moderno, desde la primera liberación de las servidumbres físicas propiciada por las máquinas de vapor en el Dieciocho hasta el caso más reciente del refuerzo de la capacidad intelectual por medio del computador.

La modernidad como categoría sociológica debe ser entendida al nivel institucional. Sin embargo las transmutaciones introducidas por la institucionalización de la modernidad enlazan directamente con la vida individual y de ahí con el ser. La modernidad aparece entonces como reflejo de la identidad tensa del

ser contemporáneo, entre la seguridad ontológica y su ansiedad existencial (Giddens, 1991).

El término moderno en arte se asocia con un estilo, con un movimiento en arquitectura. En la ingeniería la modernidad constituye una actitud deliberada, es decir un proceso inacabado de búsqueda. Moderno no es aquí sólo una noción temporal, supone ante todo estrategia y acción. Vanguardia significa provocación y giro lingüístico, exploración de límites que se sitúan en un contexto histórico-interpretativo concreto. La modernidad se debe entender así como un proyecto inacabado (Habermas, 1985).

La modernidad no se puede disociar de las infraestructuras, que están constituidas por sistemas tecnológicos maduros y fiables sobre los que se apoya nuestra civilización. Ellas forman los tejidos productivos y conectivos de la sociedad actual creando las condiciones de lo moderno. Son redes de sistemas y procesos creados por el hombre que funcionan de modo colaborativo y sinérgico para producir un flujo continuo de bienes y servicios esenciales. Las infraestructuras entendidas de esta forma, son el hábitat humano por excelencia (Edwards, 2002).

El estudio de la sociedad contemporánea bien mediante medios hermenéuticos o analíticos establece diferentes interpretaciones de los conceptos de revolución y discontinuidad histórica, según provengan de Marx o de Kuhn. Por su parte Habermas recrea el concepto weberiano de diferenciación como una de las bases de la modernidad. Diferenciación como articulación del mundo vivo en esferas semi-autónomas dotadas de lógica e identidad institucional propias: gobierno, familia, sistema ciencia-tecnología, etcetera. El estudio de la modernidad en la ingeniería puede abordarse siguiendo ese método, a través del análisis de sus instituciones.

Sorprende hasta cierto punto que la tecnología se encuentre ausente del discurso filosófico que adorna la idea de modernidad. Quizá la razón se deba a que la ingeniería como actividad y la técnica en su calidad de soporte epistemológico no hayan necesitado de una teoría filosófica para ser explicadas. Ambas producen efectos inmediatos, son perceptibles por sus usuarios sin intermediación teórica. La hermenéutica parece un modelo explicativo más adecuado para la

compleja sociedad actual que las aproximaciones nomológicas habituales en el mundo de los fenómenos físicos.

Las infraestructuras dan sentido de estabilidad, la sensación de que las cosas funcionan. La tecnología induciendo transformaciones de la racionalidad humana propicia el concepto de modernidad reflexiva. Resuelve necesidades y crea necesidades, da lugar a nuevas maneras de tratar con los objetos (Beck, 1994). Infraestructuras, máquinas y sistemas constituyen los objetos específicos de la ingeniería que no puede por más tiempo rehuir los problemas de su representación, interpretación e identidad en el contexto de una sociedad de masa basada en la presunción de la abundancia. El nuestro no es un tiempo de pathos; no respetamos los vuelos del espíritu tanto como valoramos la razón material y el realismo (Mies van der Rohe, 1924)

Este cuaderno de apuntes recoge teorías e ideas sobre la ingeniería (acción/conocimiento), en su relación con cinco signos de la modernidad contemporánea: el mercado, la sociedad del espectáculo, la preocupación por la sostenibilidad, las nuevas tecnologías y la innovación como actitud de supervivencia económica. Se trata de situar el mundo eminentemente racional y utilitario del ingeniero frente a ciertas cuestiones clave del tiempo actual: las lindes que separan lo público y lo privado, el gusto por las formas, la unión simbiótica del hombre y la Naturaleza, la irrupción de lo inmaterial y la inevitabilidad del cambio.

Es una estratigrafía ideológica que buza en función de la necesidad irrenunciable para el ingeniero, de ser moderno. Instigador del cambio y no su víctima.

"Y sólo digo lo que es cierto,
y otras cosas que son ciertas también,
aún no las digo"

Jorge Oteiza

I . I n g e n i e r í a y m e r c a d o

"La pugna entre libertad y autoridad es la más conspicua circunstancia de la historia con la que estamos familiarizados"

J. Stuart Mill

"La espectacular e históricamente sin precedente tasa de crecimiento de las economías industriales basadas en la libertad de mercado es lo que, por encima de otras circunstancias, establece la diferencia con otros sistemas económicos alternativos"

William J. Baumol

La ingeniería como actividad se identifica con la creación de valor material o social, siempre expresable en términos económicos. La estructura de los mercados en que se desarrolla la ingeniería varía atendiendo a factores diversos. Para el análisis económico la heterogeneidad de la técnica es consecuencia de la naturaleza tan diferente de los objetos/artefactos que hacen los ingenieros. También depende de la fase del ciclo de vida en que se sitúa el foco de estudio y de la dialéctica local/global que existe en cada caso particular.

Infraestructuras, industrias y tecnologías de la información son las tres clases de objetos más aparentes a los que se aplican los ingenieros. El contexto económico y la naturaleza de los mercados definen y al mismo tiempo son reflejo de la inserción de la ingeniería en el discurso de la modernidad contemporánea. Ésta a su vez se encuentra embebida en la inducción mediática del consumo de masas (McLuhan, 1964). La interpretación política de las preferencias sociales afecta al quehacer de los ingenieros. Los procesos de creación y reparto de riqueza también se pueden/deben leer en clave de funcionamiento de los mercados. A pesar de la variedad de sus estructuras el análisis económico de la ingeniería se fundamenta en la investigación de similitudes que permiten generalizar y abstraer. El empirismo de los economistas ha de conducir a teoremas con sentido cierto (Samuelson, 1947).

El mercado es una institución central del sistema occidental de libertades y base del modelo capitalista de progreso económico (Weber, 1930). No es sólo un mecanismo de asignación de recursos y creación de valor. Es un entramado de procesos humanos interdependientes que buscan las condiciones propicias para el equilibrio transaccional. El mercado fija los términos del acuerdo más o menos voluntario entre partes. Persigue la satisfacción óptima de la agregación de las utilidades individuales que motivan cada transacción (Pareto, 1916). Fue Adam Smith quien descubrió la institución del mercado y alumbró la ciencia económica. Si hoy viviese sufriría con las perversiones cometidas a expensas de su obra de filosofía moral y económica. La idea central de su doctrina, la libertad de mercado, es fruto de la sutileza de un pensamiento pionero y brillante.

Estructura de mercado y competición estratégica son dos conceptos trascendentales que sobrepasan el interés académico por la teoría microeconómica. El progreso tecnológico y la eficiencia de los mercados son variables que se alimentan positivamente. El juego de esos factores sitúa a los sectores productivos que funcionan en competencia, en un contexto de hipotético equilibrio en condiciones próximas al óptimo social a largo plazo (Tirole, 1988). Monopolio y oligopolio en colusión son por contra grandes imperfecciones del mercado que conducen a repartos muy asimétricos de los excedentes de la actividad económica (beneficios/utilidad).

Las relaciones entre innovación y estructura económica en un sector determinado se entienden observando cómo cambian su modelo de regulación y base tecnológica a medida que evolucionan oferta y demanda (Sutton, 1999). El mercado de la ingeniería civil difiere de aquéllos que rigen la producción industrial, y aún más del entorno ultra dinámico que envuelve a las nuevas tecnologías. La competencia perfecta no existe en la vida real y la imperfección en diversos grados es la norma de la economía (Robinson, 1933). En el mundo de la ingeniería, los fallos más notables del mercado se observan en la rama civil.

Por tradición la ingeniería civil se vincula a la provisión de las infraestructuras, un tipo especial de bienes públicos. Bienes de esa naturaleza son aquéllos cuyo consumo se efectúa colectivamente, son indivisibles y su utilidad agregada marginal es constante frente al nivel uso/consumo dentro de ciertos límites. Por ello la adjetivación de las infraestructuras como obras públicas y de las actividades que

se basan en su explotación como servicios públicos. El carácter de bien público viene señalado fundamentalmente en la teoría económica por dos características: la no rivalidad y la no exclusión. Un bien público no tiene por qué situarse al margen del instrumento de los precios, ni debe ser producido obligatoriamente por el Estado, menos aún en régimen de monopolio. Mercado y Estado han ablandado hace tiempo su relación antagónica en el plano económico, salvo en los corpus doctrinales situados en los extremos del espectro ideológico. Ambas fuerzas, intervención estatal y dinámica de mercado, influyen obviamente en la posición de la ingeniería dentro de la cadena de valor económico.

En la sociedad actual no necesariamente se deben calificar las infraestructuras como bienes públicos, si se va a la realidad de los conceptos anteriores. El término "público" (obra pública, servicio público) impregna a este tipo de artefactos de unos atributos jurídicos que condicionan el desarrollo de la institución del mercado (Villar Palasí, 1964). El Estado o la Administración en sus múltiples manifestaciones se sitúan por encima de los agentes económicos originarios de oferta y demanda. La potestad burocrática en el mundo de las infraestructuras desvirtúa el modelo de equilibrio de utilidades económicas y preferencias de productores y usuarios. El Estado basa su postura en la coacción y en la asimetría del derecho administrativo. Este diseño conceptual proviene del régimen de las obras públicas de 1876 (Alzola, 1899), en sincronía con el modelo social de la Prusia de Von Bismark.

Otros sectores en que la burocracia tiene menos influencia que el espíritu emprendedor (energía, telecomunicaciones) se han desembarazado de forma sutil pero explícita de ese modelo. Estas actividades son tan necesarias para la sociedad como las infraestructuras civiles, pero la servidumbre del servicio público se matiza a través de conceptos jurídicos más actuales. Los adjetivos de "esencial" o "interés general" (Trillo-Figueroa, 1996) que se aplican a estos servicios en lugar del término "público" han permitido crear marcos regulatorios que incentivan la provisión privada y abren las puertas al funcionamiento del mercado.

No vale argumentar que las infraestructuras no son bienes comerciables y que tampoco compiten entre ellas, porque esas afirmaciones son cada vez menos exactas en un contexto de oferta redundante. ¿Quién hubiese predicho años atrás la creación de mercados de infraestructuras de energía o de telecomunicaciones? En los países más desarrollados del sistema capitalista el Estado promueve subas-

tas de espectro radioeléctrico y comercializa derechos de emisión de gases de efecto invernadero. El mundo moderno busca nuevas formas económicas para tratar bienes que son públicos. También en las infraestructuras el futuro puede estar más cerca de lo que pensamos. En el mundo desarrollado y también en los países emergentes la nueva sociedad será muy distinta de lo que ha sido durante el Veinte. Muchos cambios no tendrán precedentes pero también parte de ellos ya están aquí, empiezan a intuirse (Drucker, 2001).

En la provisión de infraestructuras civiles no existe el mercado stricto sensu. Sí lo hay en cambio en los negocios que se desarrollan a lo largo de su ciclo de vida: proyecto y construcción, y de forma más limitada en su explotación. Ahí se sitúa el grueso de las actividades de la ingeniería civil. Un contexto monopsonístico (monopolio de demanda) y de oligopolio en la oferta, un extraño modelo que oculta mercados potencialmente tan masivos. La estructura de la oferta de ingeniería tiene una naturaleza oligopolística en ese mercado. Según la teoría micro-económica ello debería dar lugar a relaciones de interdependencia estratégica entre las empresas competidoras, creando un entorno propicio a la innovación (Schumpeter, 1947). Pero sucede que en la rama civil sólo hay un agente económico en la demanda, el Estado que se ampara en las prerrogativas del imperium para sesgar las reglas del juego. Esas condiciones crean tal grado de imperfección que no sorprende el hecho de que la ingeniería civil posea unos indicadores de I+D+I más bajos que otras ramas técnicas (Salas, 2001). El pseudomercado de las infraestructuras posee un comprador único y público que actúa además como agente económico final de la cadena de valor. Esas condiciones no crean los mejores estímulos para que los agentes en la oferta asuman riesgos de innovación. Las autoridades, es sabido, temen la novedad (Maillart, 1932).

Un ejemplo de anomalía del mercado en el modelo económico de provisión de las infraestructuras es su planificación. Ésta se considera aquí como un instrumento de carácter público e imperativo, sometido con generalidad a la potestad del Estado. Por el contrario la planificación pública sólo es indicativa cuando se trata de la producción de energía y prácticamente no existe en el mundo de las tecnologías de la información. También hay que pensar por que razón no existe el marketing en el sector de las infraestructuras, siendo una actividad dinamizadora y facilitadora de las relaciones económicas (Kotler, 1988) de importancia tan señalada en otros campos. En las infraestructuras civiles los planes de unos (pocos)

sustituyen a la expresión de las preferencias de los (muchos) usuarios, que bien podrían ser reveladas a través del estudio de la demanda agregada (McFadden, 1981). El servicio público se interpreta al pretérito modo, negando la evidencia de un mercado subyacente de masas que en algún momento deberá aflorar.

La concentración empresarial del sector de obra civil junto con las características institucionales del proceso de licitación pública generan un contexto de competencia en precios a la Bertrand. Este escenario es poco adecuado para fomentar la innovación/calidad en las infraestructuras. Las empresas de ingeniería y construcción son cada vez más importantes a escala local, pero el proceso de concentración de la oferta no tiene reflejo acusable en la posición internacional de estos conglomerados. Ningún grupo nacional de ingeniería/construcción forma parte del elenco de empresas que componen la lista del Fortune Global 500.

Es necesario reinterpretar el concepto de obra pública en un mercado de masas. No sólo el modelo de provisión y su marco jurídico, sino la forma en que la infraestructura se publicita, la obra pública en los medios de comunicación, su elocuencia. El Estado como gran emprendedor social y como ente de cooperación al servicio de la minimización de la incertidumbre del proceso de acumulación capitalista, continuará cumpliendo su labor de formación de capital fijo. Se sabe que ello influye en la productividad del sector privado aunque la teoría del multiplicador keynesiano se pone en cuestión últimamente. La presencia del Estado en el sector no debería excluir la creación de incentivos al mercado de las infraestructuras. Si las políticas económicas del siglo pasado han enseñado algo, es que el éxito en conseguir un robusto crecimiento a largo plazo tiene menos que ver con las decisiones macroeconómicas que con la buena microeconomía, incluyendo el estímulo de los mercados en competencia que recompensan la innovación y que limitan el papel del gobierno (The Economist, 2000).

Conceptos nucleares de la teoría microeconómica moderna como los de información asimétrica y comportamiento estratégico de los agentes en el mercado, se encuentran ausentes de la escasa literatura económica sobre la ingeniería. Las decisiones de las empresas y su estrategia de mercado por un lado y el diseño institucional así como la regulación que establecen los poderes públicos son factores que influyen en la determinación de las estructuras sectoriales de los mercados de ingeniería. Lo que se necesita para un rápido progreso tecnológico es una mezcla sutil

de competencia y regulación, con más énfasis en general en lo primero que en lo último y con el papel de los agentes monopolísticos disminuyendo a medida que se enriquece el campo de oportunidades tecnológicas (Scherer y Ross, 1990).

Raramente la teoría económica ha sido capaz de explicar de forma convincente las relaciones que existen entre ingeniería, tecnología y mercado. Para la mayoría de los economistas la tecnología sigue siendo una caja negra (Rosenberg, 1982). Lo que sí se sabe es que el monopolio carece de incentivos para innovar, ni en el lado de la oferta ni en el de la demanda. Tampoco los modelos de competencia que se basan en estrategias de precios son un entorno muy adecuado. Una buena parte de las empresas de ingeniería civil conciben la innovación, si acaso como una posible fuente de ahorro de costes, por ello no sorprende que en los estudios de prospectiva las nuevas tecnologías no se interpreten como elementos clave del desarrollo por parte de los agentes de este sector (OPTI, 2003).

La institución del mercado no sólo afecta a la ingeniería en cuanto a los objetos de la misma, también tiene importancia decisiva en las condiciones económicas de sus propios sujetos, los ingenieros. Los indicadores primarios del mercado de trabajo de la ingeniería (nivel de empleo y salarios) se deducen del contraste entre demanda y oferta en un momento dado. Esas variables son intrínsecamente coyunturales, sensibles a la volatilidad del ciclo económico y a la elección política de las prioridades de desarrollo. Interesa más conocer los factores estructurales del mercado laboral de los ingenieros que los elementos cíclicos de naturaleza coyuntural, porque determinan las tendencias a medio plazo. Algunos economistas consideran que el cambio tecnológico establece caminos diferentes para los trabajadores no sólo en función de su nivel de educación sino especialmente atendiendo a su capacidad para internalizar rápidamente los efectos del cambio en sus especialidades respectivas (Murphy & Riddel, 1998).

Hay que investigar las tendencias a largo plazo del mercado de trabajo de los ingenieros porque el cambio tecnológico afecta a los patrones de distribución de ingresos por especialidades. El ritmo de la adopción de nuevas tecnologías en cada sector económico será diferente, creando oportunidades para establecer ciertas ventajas comparativas. En un contexto de aceleración del cambio tecnológico el conocimiento se valora más por su escasez que por su profundidad. De nuevo es el encuentro de oferta y demanda, esta vez asociado a las contingencias del

cambio, quien determina el valor económico del factor humano. La estadística no se limitará en este caso a los valores medios sino que estudiará los momentos de segundo orden de la distribución de la renta salarial dentro de la ingeniería. La valoración económica de los ingenieros en el mercado laboral se establece en función de sus conocimientos técnicos y experiencia dentro de la rama respectiva. En lo sucesivo habrá que añadir un cualificador adicional, su capacidad de reacción frente al cambio.

La tecnología es un concepto que rebasa los límites de la ingeniería, aunque ambos términos están relacionados. La ingeniería como servicio profesional individual o societario es una de las formas de la tecnología. Otras formas de tecnología son los derechos de propiedad sobre el conocimiento técnico (patentes y licencias) y el know-how embebido directamente en artefactos que pueden ser físicos (hardware) o intangibles (software). Los mercados de tecnología son más amplios que los de ingeniería, aunque el resto de las formas tecnológicas tienen normalmente su origen en aquélla. La existencia de mercados de tecnología en sentido amplio es una evidencia empírica y sus factores determinantes varían según el contexto específico de que se trate (Von Hippel, 1990). Influyen en la vitalidad de estos mercados factores como la estructura sectorial, la naturaleza del conocimiento técnico (particularmente su divisibilidad en especialidades) y el grado de desarrollo institucional de la propiedad intelectual. La separación de conceptos y formas dentro de la tecnología lleva a un tratamiento económico diferente, debido a la naturaleza de los costes. Los servicios de ingeniería están gobernados por estructuras de costes variables pero en otras formas de tecnología los costes fijos de entrada en el mercado establecen las reglas de juego y los costes marginales son casi nulos o poco relevantes. La teoría económica considera este hecho como un factor determinante para comprender la estructura de los mercados tecnológicos y sus modelos de competencia (Samuelson, 1964).

La nueva geografía de la tecnología está creando una redistribución espacial de la capacidad de producir conocimiento, profundamente distinta a la que se dió en el pasado (The Economist, 2003). El futuro de la técnica, de la ingeniería, está más que nunca en las manos ¿invisibles? del mercado.

"Cualquiera sabe, el día de mañana..."

Blas de Otero

2. La ingeniería en la sociedad del espectáculo

"La Tour est belle!"

Gustave Eiffel

"Surgen objetos nuevos, asombrosos, temerarios, animados de grandeza,
conmocionándonos, perturbando nuestras costumbres.
De los nuevos hechos se desprende una poesía violenta y radiante"

Le Corbusier

¿Se pueden establecer vínculos de implicación entre la ingeniería y la cultura de masas? ¿Aportan o no las obras de los ingenieros la elocuencia de estilos y de imágenes que reclaman las doctrinas de nuevo cuño sobre la cultura visual?

La ingeniería es un acto de creación basado en el proyecto y su desarrollo sistemático y objetivo, el compromiso ético y la búsqueda de soluciones integrales y universales destinadas a su inserción pragmática en la realidad (Konkrete Kunst, 1944). La ingeniería es deseo, posibilidad y conocimiento. El mundo es el espacio lógico que comprende todos los hechos. La lógica de la ingeniería es su lenguaje; el arte, la creatividad expresiva, también son lenguajes. La comprensión de una obra es similar a la capacidad de hablar un idioma. Los límites del lenguaje significan los límites del mundo (Wittgenstein, 1953).

La ingeniería entiende la forma como función, la expresión visible de la función. Es un arte de inspiración matemática y científica, reflexivo, en que el proyecto es previo a la realización y ésta aspira a la perfección técnica. El arte es un juego específico del lenguaje; es necesario rasgar el envoltorio de las afirmaciones verbales (Gombrich, 2000). A veces se encuentra el ingeniero con pies forzados al proyectar sus construcciones, para llegar a una solución satisfactoria bajo el aspecto estético (Alzola, 1892). La elección de una u otra solución viene siempre dictada por razones técnicas y económicas. La belleza viene después... si todo sale bien (Nervi, 1973).

Situar la obra pública en la cultura de masas, significa la disrupción del discurso tecnocrático y su transformación cultural. La atención social se sitúa en el espectáculo, mientras que el consumo inconsciente de la obra pública la transforma

en un letargo infraestructural. Una obra alcanza la perfección cuando no excluye la emoción de la alegría (Barragán, 1980).

La iconofilia forma parte de la psicología del consumo de masas cuya sensibilidad estimulan las industrias del ocio. La economía de la abundancia y su representación generalizada en los medios de comunicación audiovisual son el contexto real de la ingeniería contemporánea. El colmo de la ilusión es el colmo de lo sagrado (Feuerbach, 1845).

Los que tienen que llevar a la práctica esa tarea, los ingenieros, los constructores, los financiadores, no aceptan fácilmente dicha intención significativa. Cuando una de estas obras destinadas a la práctica se resiste a la interpretación, fracasa. Toda obra que fracasa en la práctica se convierte en espectáculo (Debord, 1967). Pirámides, catedrales y cohetes existen no por causa de la geometría, la teoría de estructuras o la termodinámica, sino porque antes fueron imágenes, literalmente visiones, en la mente de quienes las concibieron (Ferguson, 1994).

En una sociedad que habla, que se transmite información, el lenguaje adquiere una extraordinaria importancia incluso para ocultar la relación originaria corporal y sensible con el mundo. La filosofía convertida en conocimiento de la estructura del saber mismo es una abstracción que refleja determinadas perspectivas de lo real y sobre todo del lenguaje (Lledó, 2003). La raíz del espectáculo se hunde en el terreno de la economía convertida en abundancia. De ella proceden los frutos que tienden a dominar el mercado del espectáculo, desafiando las barreras proteccionistas de cualquier conciliábulo local con pretensiones autárquicas. Lo espectacular difuso acompaña siempre a la abundancia, es decir al desarrollo imperturbable del capitalismo moderno.

La cultura de masas contribuye a debilitar las instancias intermedias (desde la familia al Estado) para constituir una agregación de individuos sensibles a las reacciones pavlovianas (Morin, 1962). La ingeniería se percibe en la cultura de masas como funcionalidad, y las funciones se refieren a las consecuencias de elementos regulares, estandarizados y rutinizados en el proceso comunicativo. Incluso diferenciando las necesidades de las funciones es posible diluir la gratificación de las necesidades que perciben los individuos. El elemento fundamental de las rutinas productivas, es decir la sustancial escasez de estímulos que juegan a favor de la

sorprea, acentúa la importancia de los valores-noticia que se encuentran radicados en el proceso informativo. Todo reconocimiento comporta riesgos.

Construir tiene mucho significado, es ordenar una cosa al lado de otra, es ir formando un cuerpo por un proceso. En cambio el objeto parece que es una cosa que se compra y se pone encima, no pertenece al lugar está descontextualizado. Con las grandes luces aparece la verdadera ingeniería, que sobrepasa los problemas estéticos o de cualquier otro tipo. Cuando el puente pierde tensión estructural también empieza a perder tensión formal, y es entonces cuando los arquitectos y los artistas empiezan a tomar parte en los concursos, con una capacidad formal mucho más educada que la de los ingenieros. La ingeniería tiene mucho que ver con la escultura (Manterola, 2003).

Todas las tecnologías son extensiones de los sistemas nervioso y físico del hombre para incrementar su poder sobre el espacio, el tiempo y la probabilidad. Los principales factores de impacto de los medios sobre las formas sociales existentes son la aceleración y la interrupción. Hoy día la aceleración tiende a dispararse con lo cual queda atenuado el valor social del espacio-tiempo como elemento ordenador. La aceleración contribuye a mejorar los instrumentos de intercambio y de asociación humana pero las diferencias de velocidad acentúan los problemas de forma y estructura. El tiempo antropológico, tiempo que sigue instante tras instante los pasos de un hombre en permanente presente verbal, dirigido a un futuro que siempre ignora (Benet, 1981). El hombre ha extendido su sistema nervioso central mediante la tecnología informática y ahora en el campo de batalla por las preferencias masivas la pugna se basa en la producción y destrucción de imágenes. Todo aquello que no tiene imagen desaparece de la consciencia colectiva; no es en tanto que no se ve, su tiempo tampoco existe.

La aldea global es una red de marcas. Las marcas producen sentimientos y la publicidad intermedia la relación volitiva entre producto y consumidor. La publicidad es una interpretación moderna de la comunicación de la experiencia en los mercados de masas (Klein, 1999). La ingeniería ha invertido muy poco en marca, es una obra colectiva de códigos técnicos y anonimatos personales. La arquitectura siempre más sensible al factor humano, le ha tomado ahí una ventaja decisiva. La arquitectura disfruta de una imagen positiva en los medios, pero la ingeniería interesa sobre todo cuando fracasa. Ingeniería y arquitectura son y no son lo mismo. La relación

entre las dos disciplinas es como la antinomia de Russell, una paradoja del lenguaje que escapa de los límites de la lógica.

En el debate de las formas, el ingeniero se aferra a la teoría de lo natural, la preferencia por aquéllas que expresan la armonía de la respuesta de los materiales cuando se enfrentan al problema planteado. Imponer a la materia las formas nacidas de mi imaginación es para mi a la vez una necesidad imperiosa y una fuente de placer inagotable (Freyssinet, 1949). El arquitecto ama la exploración y busca por medio de artificios expresivos el estímulo perceptual de su usuario. Lo informal es ahora un paradigma emergente. En lugar de solidez y certidumbre sus estructuras tienden a expresar duda, arbitrariedad, misterio e incluso misticismo (Koolhaas, 2002).

La ingeniería expresa su voluntad de ser objetivamente útil, de crear objetos artificiales que sólo se valoran al confrontarlos con una necesidad humana de raíz más colectiva que individual. Implica una actitud agónica del ser frente a las dificultades naturales, ajena al discurso del placer. La ingeniería se entiende como acción utilitaria, no es práctica hedonística sino tensión entre la libertad de la razón y el determinismo de la Naturaleza. El ingeniero tendrá la satisfacción de haber dado a la materia su forma exacta y de haber realizado una de las condiciones esenciales que debe respetar todo constructor: la economía de los medios (Maillart, 1934).

El reino de la ingeniería es el reino de la necesidad no el de las sensaciones. El mínimo inmediato es la obra del ingeniero (Fernández Casado, 1928). El hedonismo es sobre todo una filosofía de la sabiduría que nos enseña a entender el gozo y el placer como simples marcas de nuestro bienestar. El hedonismo ético es un imperativo categórico (Sheldon, 1950). La consideración del placer como un fin de la obra construida tampoco goza de aprobación unánime dentro de la arquitectura. Arquitectos anticipadores del Moderno consideraban que el ornamento no es producto natural de nuestra cultura, sino un síntoma de retraso o degeneración (Loos, 1908). El idealismo neoclasicista prevenía contra la idea de la forma como fin, que acaba en mero formalismo. Rechazando toda especulación estética, toda doctrina y todo formalismo (Mies van der Rohe, 1923).

El placer es un antiirritante, la comodidad es la eliminación de los irritantes. El placer y la comodidad son estrategias que protegen el sistema nervioso central. La fragmentación o especialización como técnica para obtener mayor seguridad bajo

la opresión del entorno conlleva un peligro concomitante. La adaptación perfecta sólo se logra con una dedicación absoluta de las fuerzas vitales, equivale a una especie de equilibrio inestable. Difícil es la situación en que se encuentran los representantes de la sabiduría convencional. Su seguridad y posición social dependen de una única forma de conocimiento adquirido, para ellos la innovación no supone novedad sino aniquilación.

En esta época las jerarquías sociales y los conceptos de clase, gremio y familia están en declive. La ética de la autosatisfacción y del triunfo personal es la corriente que domina la sociedad contemporánea. El ser humano aspira a ser el autor de su propia vida, creador de una identidad en que los actos de satisfacción personal son uno de los ejes centrales. Cualquier intento de crear un nuevo sentido de cohesión social ha de comenzar por el reconocimiento del individualismo y del escepticismo (Beck, 2000).

La indiferencia social hacia la ingeniería no produce una gran preocupación entre sus profesionales. Conscientemente han decaído en su interés por la publicación de la obra construida. La relación de la ingeniería con los medios no ha logrado crear y mantener una comunidad de intereses cognitivos compartidos. La dificultad de establecer una corriente mediática interesada en la crítica de ingeniería se ha vuelto en los últimos años difícil y oscura. Vivimos el presente bajo el peligro de la nostalgia. Proliferan las rememoraciones biográficas y las efemérides recurrentes. La objetivación histórica se refiere a la experiencia y la memoria colectiva no contribuye a la claridad del análisis (Ashler, 1989). Hay que abrir un espacio donde plantear cuestiones fundamentales de lo que significa la historia de la ingeniería.

La publicación en los medios de la obra contemporánea sólo importa en cuanto satisface la memoria selectiva de quienes la encargan. Una evidencia forense en el sentido de la retórica es la severidad visual de los mensajes mediáticos que fluyen desde el mundo de la ingeniería. La indiferencia institucional es enemiga irredimible de la pulsión creativa y de la autonomía del autor del proyecto. La modernización de las instituciones de la ingeniería no se puede aplazar. La modernidad en la ingeniería debe entenderse sobre todo en el plano institucional.

El dominio de las formas, la percepción visual de la obra es una cuestión de necesidad para el ingeniero. La búsqueda de una forma es una exploración del instinto contra lo preconcebido que provoca varias interrogaciones. Un ciclo de invención

y post-racionalización corre desde una a otra, y en el medio están los juicios y críticas que uno hace (Balmond, 2002). También en la piel está la cuestión de la belleza, de la separación entre el interior y el exterior de la forma (Perrault, 2003). Cada vez que se produce una revolución, un cambio rápido, las barreras se rompen y los profesionales intercambian roles. Los ingenieros se hacen diseñadores, los arquitectos se convierten en escultores, los artistas se transforman en arquitectos. Todas esas competencias profesionales se vuelven borrosas. El arte de construir consiste en crear obras que sintetizan el arte del arquitecto, la ciencia del ingeniero y el oficio del constructor (Esquillan, 1971).

No hay que confundir el espacio ideológico del arte y el de la técnica. No cabe duda que hay una discrepancia estructural entre el proyecto formulado en los textos programáticos de los artistas y la concreción de las obras civiles. La vanguardia reforzó el discurso del arte nuevo a través de la mediación de interlocutores ajenos al mundo del arte. De algún modo los artistas de la vanguardia necesitaban sentir su trabajo en sintonía con el de científicos y técnicos. Sus exploraciones buscaban una dimensión objetivable. Las vanguardias han dado buenos ejemplos de ordenación del relato pictórico bajo claves de racionalidad técnica. Del mismo modo que han producido transformaciones en el campo de la arquitectura y la escultura (Barro, 2001). No es esta suerte de interdependencia ajena a la historia, pues el arte ha sido objeto de estudio desde la estética científica y se ha valido de métodos técnicos para la conformación de su obra. Arte y técnica: una nueva unidad (Gropius, 1920). El arte abraza la técnica sin reparos y la ingeniería desdén cultivar su intensidad perceptual, la riqueza de sus posibilidades de interpretación.

El nivel de mayor consciencia en la apropiación de significado se encuentra en la iconografía (Panofsky, 1955). Este nivel de percepción supraconsciente comprende todas las cuestiones que hacen referencia a la representación simbólica de la obra. Abre paso además a su interpretación en términos ideológicos. Los niveles de apropiación social de significados siguen un orden definido por el contenido semiológico de los iconos que los representan. La representación simbólica en la ingeniería tiene a este nivel escasos precedentes.

"La acción necesita para aparecer en su plenitud el brillo deslumbrante que antes se llamaba gloria, que sólo es posible en el reino de la imaginación pública"

Hannah Arendt

3. La ingeniería y los ideales del crecimiento y la sostenibilidad

"El objeto de la industria es la explotación del globo, y su misión modificar el mundo y continuar así la obra de la Creación"

C. H. de Saint-Simon

"Nel mezzo del cammin di nostra vita
mi ritrovai per una selva oscura,
chè la diritta vita era smarrita"

Dante Alighieri

El término ideal puede entenderse como una exigencia de la razón pura que no se da en el campo de la experiencia (Kant, ca. 1780). Los ideales tienen un uso regulativo, es decir sirven de normas para la acción y el juicio, dirigen y encaminan la razón. El rasgo más fundamental del idealismo es tomar como punto de partida para la reflexión filosófica no el mundo exterior sino el sujeto, que es el ideador *stricto sensu*. El idealismo moderno coincide con el racionalismo y se aparta del empirismo; el mundo exterior es puesto entre paréntesis para ser ulteriormente justificado (Ferrater Mora, 1968).

Los errores abren una ventana en nuestro pensamiento. Igual que las ilusiones ópticas nos facilitan procesar la información visual, las elecciones erróneas nos ayudan a entender cómo formamos nuestras decisiones. La ausencia de ideología es una forma, tal vez la más peligrosa, de ideología (Rui-Wamba, 2003). Las ideologías se forman como enmascaramientos de la realidad fundamentalmente económica, y los poderes dominantes ocultan así sus verdaderos propósitos. Pero la ideología a la vez que ocultación y enmascaramiento puede ser revelación de esa misma realidad. Detrás de toda teoría económica, especialmente de las teorías sobre el crecimiento, existe al menos una ideología. Esto es válido tanto para los partidarios del progreso como para los creyentes en ese otro progreso negativo que es la decadencia. Los reaccionarios inventan un pasado según el futuro que temen y las medidas que se disponen a tomar para prevenirse de la hecatombe venidera (Savater, 1976).

Fué Marx entre los filósofos modernos, quien mostró una más inagotable y universal fe en el progreso. Crecimiento y desarrollo se suponen términos equivalentes, por lo que más autoridad que las doctrinas filosóficas debería tener sobre

ellos la ciencia de la economía. La teoría macroeconómica convencional al tratar del crecimiento especula sobre los efectos de la política fiscal, la teoría monetaria y en general de las variables agregadas sobre el desarrollo (Solow, 1956). Poco aparecen en su discurso la técnica como factor productivo o la ingeniería como actividad habilitadora del progreso. La tecnología se interpreta una vez más como el *deus ex machina* del crecimiento económico, causa invisible a la que se suponen importantes efectos visibles pero cuya aprehensión se escapa a los economistas que estudian el fenómeno.

La teoría económica pre-industrial adoptaba como postulado axiomático la ley de los rendimientos decrecientes de los factores de producción (*ceteris paribus*), como condición debida para conseguir el equilibrio natural en el mercado. La sociedad industrial dió un giro al marginalismo clásico poniendo en cuestión el principio anterior; una vez que se constató que el modelo capitalista alcanza con frecuencia aumentos de rentabilidad superiores a los de la inversión productiva. La reconciliación de estas tendencias en apariencia contradictorias ha llevado a una reformulación de las teorías explicativas de la producción. Ahora es un factor nuevo, el conocimiento o capital técnico, quien asume el principal protagonismo en los modelos más modernos de crecimiento económico (Romer, 1986).

La tasa de acumulación del conocimiento técnico es la base tanto del desarrollo como de la desigualdad económica. Los flujos que mueven la economía no son sólo físicos, sino fundamentalmente de conocimientos. El crecimiento exige sobre todo una tasa cada vez más alta de acumulación de capital humano, del stock social de conocimientos útiles (Lucas, 2002). En este modelo el cambio técnico no puede considerarse como un factor exógeno, ya no es posible ignorar por más tiempo la naturaleza específica y los efectos de la tecnología sobre el desarrollo económico. En una sociedad avanzada donde el papel del capital humano prevalece sobre el del capital físico, debería ser posible entender el crecimiento en términos distintos del progreso material puro y duro. El objetivo de un país rico sería preferiblemente crecer mejor y no tanto crecer más. Es el concepto de crecimiento racional que derivaría hacia el término semánticamente forzado de sostenibilidad, que se aplica a la creación de riqueza cuando a las ecuaciones del crecimiento se añaden consideraciones de equilibrio ecológico y respeto ambiental. Pasar del paradigma industrial del crecimiento estadísticamente continuado a otro basado en su contención consciente. La ingeniería como motor de progreso se sitúa entonces en un con-

texto distinto, en que los rasgos cualitativos y los juicios de valor social pesan tanto o más que los indicadores de productividad y beneficio económico directo. Jugando con las palabras de Mies se diría en este caso que más no es menos, pero podría llegar a ser menos relevante. La alegría que una obra da a su creador no depende de su dimensión sino del amor que éste le transmite (Freyssinet, 1949).

Las infraestructuras alteran las condiciones naturales de fuerza y espacio, y también la organización social (Murata, 2000). Una gran densidad de infraestructuras no garantiza por sí misma una mayor riqueza o el crecimiento indefinido de un país. Callarse no significa en modo alguno no saberlo. El hombre ya no se encuentra con la Naturaleza aún cuando sale de la ciudad para querer comulgar con ella. Así la Naturaleza se convierte en un fragmento de la Naturaleza, y el hombre en un fragmento del hombre. El intento de diálogo entre este hombre y esta Naturaleza fragmentados se convierte en un monólogo histérico y monótono (Barragán, 1967). Por otra parte la sostenibilidad se presenta como un concepto débil, centrado en la crítica del crecimiento pero sin capacidad propositiva para afrontar la complejidad de las relaciones económicas del mundo contemporáneo. El privilegio de las nociones negativas, que designan aquello a lo que se oponen pero no precisan sin embargo con qué estarían de acuerdo, consiste en sustraerse de toda contestación; prosperan al abrigo de su propia ambigüedad. Es también el fuero de los charlatanes, que no sólo hablan según sugiere la etimología de la palabra, sino también y sobre todo logran hablar de nada (Rosset, 1973).

La dedicación de los ingenieros a los procesos de desarrollo económico ha sido un factor de causalidad directa en el crecimiento y en el cambio social extraordinario de los últimos dos siglos. La técnica y la ingeniería desempeñarán igualmente un papel decisivo en la adopción del nuevo paradigma del crecimiento sostenible. El concepto de sostenibilidad aplicado al desarrollo ha querido mostrarse como una idea simple para responder a problemas complejos, pero las dificultades para concretar este concepto de forma integrada, objetivable y generalizable en el ámbito técnico y en el de la acción política producen cierta frustración. El desarrollo sostenible se entiende como un proceso de cambio, adaptación y equilibrio dinámico de los sistemas naturales, técnicos y económicos dentro de una perspectiva de más alto nivel. En la evolución conjunta de estos sistemas intervienen aspectos de jerarquía e incertidumbre que se entremezclan con otras consideraciones, todo ello inherente a la propia idea de la sostenibilidad (Herrero, 2002).

Para la ingeniería este nuevo modelo de crecimiento no supone un cambio significativo de actitud en el ejercicio de sus responsabilidades. Conseguir los objetivos del bienestar social contribuyendo decisivamente a la creación de valor económico no significa obviar la finitud de los recursos naturales ni estropear los delicados equilibrios que exige la preservación del entorno. La ingeniería sostenible no demanda un modelo mental nuevo ni una práctica profesional radicalmente diferente; lo que requiere es un sistema de incentivos de otro tipo, que internalice los valores que se quieren estimular. No se trata de un problema epistemológico sino regulatorio, es decir de expresión de las preferencias sociales a través de opciones políticas más definidas y comprometidas con el nuevo paradigma. Ser el cambio que queremos ver en el mundo (Ghandi, 1958).

El ideal de la sostenibilidad apunta al futuro, hacia el bienestar de las próximas generaciones. En ese sentido es un concepto altruista en contraposición al culto por la satisfacción del interés más o menos inmediato que impregna el modelo de desarrollo que denominamos capitalista. Aunque a largo plazo, es claro que todos habremos dejado de existir (Lord Keynes, 1930). La motivación detrás de la sostenibilidad no es el producto bruto sino la calidad de vida, es decir la búsqueda de un modelo económico que pueda generar riqueza sin necesidad de crecer físicamente a expensas de agresiones a la Naturaleza. Hoy parece difícil, pero quizá no lo sea tanto y además es posible que el mundo desarrollado avance ya en esa dirección aunque explícitamente no se advierta. La economía nació como ciencia asociada al problema de la distribución eficiente de los recursos, que en aquellos momentos eran casi exclusivamente de origen natural. Hoy la economía física es sólo una parte del sistema, a la que hay que añadir la economía financiera y últimamente la economía digital. El contenido material por cada dólar que exporta la economía norteamericana ha caído un cuatrocientos por cien a lo largo de los últimos veinte años (Fortune, 2000).

Un modelo de desarrollo en que el crecimiento se produzca sobre todo a expensas de las dimensiones no-físicas de la actividad económica, será intrínsecamente un modelo más sostenible. La ingeniería de lo inmaterial no creará efectos directos sobre el entorno natural, al menos comparado con la afección física que crean las infraestructuras, los efectos ambientales y el agotamiento de recursos que provocan las actividades productivas. El consumo de bienes físicos tiene un límite marcado por el nivel de saciedad de las necesidades humanas. La

dimensión del espacio de las economías inmateriales no está acotada física sino temporalmente. Sus efectos sobre el ecosistema son independientes de su tamaño, su crecimiento es potencialmente infinito y ambientalmente inocuo (Kurzweil, 2002). Aún así la sostenibilidad de la parte física de la economía exigirá cambios importantes, especialmente en la definición axiológica de las preferencias sociales y muy especialmente en su articulación política. Los modelos regulatorios por otra parte deberán ser capaces de generar sistemas de incentivos económicos que permitan a los mercados asignar rentas económicas diferenciales a las actividades productivas de bajo impacto ambiental y a la contención responsable de ciertos consumos (Adams, 2001).

Para la ingeniería la adopción de este paradigma no es novedad ni problema, es una oportunidad interesante. A nivel social la sostenibilidad no es un desafío intrínsecamente de naturaleza tecnológica sino de buen gobierno, en el sentido amplio del término. Al menos a escala macro. Cuando se desciende al ámbito más modesto de lo cotidiano, de la actuación del ingeniero en una obra o actuación industrial determinada, el término se reduce en su solemnidad pero gana en concreción. Aquí se trata de hacer bien, de velar por el buen proyecto, por la ejecución cuidadosa de la obra, por la explotación pulcra de la infraestructura. El respeto ambiental se traduce en la atención explícita a la buena integración de la obra en su entorno, sea natural o urbano, su armonía con el paisaje, su racionalidad energética, su usabilidad. Detalles que entran de lleno a formar parte de la responsabilidad del ingeniero que diseña, construye o explota un artefacto puesto a su cargo por la colectividad o por un cliente privado.

La Naturaleza a esta escala humana dejará de ser contemplada con ambigüedad para incorporarse como un elemento del diseño, un referente lleno de contenidos en la obra (Croxtton, 2002). El ingeniero ambientalmente consciente actuará como un integrador; estableciendo una jerarquía adecuada en la relación dialéctica de la obra con su entorno. Excluirá el concepto agresivo de dominación de la Naturaleza, atenuando amablemente la irreversibilidad de la inserción de la nueva infraestructura. La obra ya no será del ingeniero, pertenece a su entorno; aquí desempeña un papel habilitador; es un médium pero no permanece.

"Prohibido comer habas"

Pitágoras de Samos

4. Ingeniería y tecnologías de la era post-industrial

"En un sistema formal hay siempre alguna proposición tal que ni ella ni su negación son decidibles dentro del sistema"

Kurt Gödel

"El problema de ingeniería de diseñar varias máquinas para varios trabajos se sustituye por la labor de programar una máquina universal que los haga todos"

Alan M. Turing

La ingeniería ha sido siempre fruto de la inteligencia interpretativa, una expresión sobria de la razón humana vinculada al logos. La tecnología se sitúa ahora en el contexto de una cultura de masas y tiene mucho que ver con la ilusión, con la exuberante irracionalidad de los mercados (Greenspan, 1999). La relación de las nuevas tecnologías con la ingeniería convencional no puede ser fácil, ambos campos parten de bases diferentes. En la era post-industrial la fascinación por la tecnología se sitúa en áreas como la fotónica, los nanosistemas, la genómica o las tecnologías de la información. Los nuevos artefactos que atraen el interés del público ya no son las infraestructuras ni los artefactos mecánicos, objetos conocidos, déjà vu. Son ahora los robots, las redes de sensores, los tejidos humanos sintéticos, todos ellos oscuros objetos del deseo. La tecnología es mucho más que un método, es un mundo en sí misma. Algo que tiene una forma significativa y poderosa (Mies van der Rohe, 1950).

Un aspecto en que difieren el mundo de las obras y el sector de las nuevas tecnologías es la naturaleza de los riesgos. El riesgo que afrontan los proyectistas y los constructores de infraestructuras es esencialmente de carácter técnico o proviene de la imprevisibilidad de la Naturaleza. Está asociado a la bondad del proyecto y al buen fin de la obra. La ingeniería civil no sufre a menudo problemas de costes hundidos o riesgos de mercado. Proyecto y obra son conceptos de referencia omnipresentes en el modelo conceptual del ingeniero civil. Proyecto equivale a obra virtual y normalmente obra terminada, misión cumplida. La estabilidad que se asocia de forma instintiva a las infraestructuras (están ahí y funcionan siempre) contrasta con la volatilidad relativa de las nuevas tec-

nologías y la dinámica de evolución de sus mercados. Ésta nunca es lineal y sí tiene mucho de incierta (Varian, 1999).

Las nuevas tecnologías (tecnologías post-industriales) no son sólo inestables sino que además producen en muchos casos bienes inmateriales (software, contenidos digitales) y son el soporte de servicios que requieren escasa intervención humana directa (comercio electrónico, servicios online). Esta singularidad tan peculiar (más que el paradigma del automatismo) es lo que las diferencia profundamente de los demás ámbitos del conocimiento técnico y de las ramas clásicas de la ingeniería. Lo inmaterial ni se proyecta, ni se construye, ni se fabrica; se crea. La dificultad epistemológica y la incertidumbre del método científico son obstáculos que debe afrontar el estudioso de las nuevas tecnologías para ir más allá de sus manifestaciones epidérmicas (Shapiro, 2000). Mientras que la ingeniería de infraestructuras y la industrial tienen sus fundamentos asentados en las ciencias físico-químicas, las tecnologías post-industriales poseen una base de conocimientos mucho más reciente y elusiva: lógica simbólica, ciencias de la computación, teoría de la comunicación. Es el mundo de la matemática discreta frente a la dinámica de los medios continuos; al viejo Newton no le han puesto cuarto en esta casa.

Las nuevas tecnologías no excitan la imaginación humana por lo que son hoy, sino por lo creemos que pueden llegar a ser mañana. Las expectativas y no las realidades son el combustible que mueve la maquinaria de la economía y de la técnica en la era post-industrial. El delirio del boom no ha sido completamente erradicado. La tecnología no hace a la sociedad moderna más productiva sino más seductora. No importa el crecimiento económico sino la gestalt de los nuevos paraísos artificiales (Berlin, 2003). El avance de la tecnología deja atrás modelos de negocio obsoletos y regulaciones administrativas pasadas de moda. Su ciclo de vida dura menos que el tiempo de promulgar las leyes que regularán su uso.

Las nuevas tecnologías producen además efectos importantes en el mundo físico, aunque su ámbito natural sea la inmaterialidad. El centro de gravedad de la técnica, de la ingeniería, se desplaza dando saltos irreversibles desde el confortable núcleo de las capacidades curriculares aseguradas dentro de cada especialidad hacia fronteras imprecisas y poco cómodas que señalan la transición entre lo estable y lo experimental, lo cierto y lo improbable. Las leyes de las nuevas tecnologías desafían la sabiduría convencional de la utilidad marginal decreciente del conoci-

miento técnico. La ley de Moore predice la duplicación de la densidad de los circuitos integrados cada dieciocho meses, la ley de Metcalfe hace crecer cuadráticamente el valor de un artilugio nuevo en relación con su número de usuarios, cuando hay una red por medio. Las actividades emprendedoras en este mundo nuevo son multidisciplinarias en esencia, las grandes ideas surgen de la fertilización cruzada entre campos distintos (Jacobs, 1994). En las nuevas tecnologías ya no existe la pureza del genotipo ni hay lugar para el *esprit de corps*.

La integración es un concepto relativamente nuevo para la ingeniería civil, aunque es moneda de uso corriente en el mundo tecnológico. El objeto real de la ingeniería en un mundo fuertemente interrelacionado no puede ser la obra o el artefacto aislado, es el sistema. Sistema es complejidad plural, diversidad y orden dentro de una propensión al caos. En la era post-industrial la ingeniería civil dejará de ser una ingeniería de obras, será una ingeniería sobre todo de sistemas. No de puentes sino de redes de transporte, tampoco de puertos sino de cadenas logísticas. La transformación más importante a que se enfrenta la ingeniería civil en su ineludible proceso de cohesión con las nuevas tecnologías es precisamente el de la integración multidisciplinar, llegar a ser una ingeniería de sistemas. Combinar especialización y generalidad, utilidad y atractivo, servicio público y mercado. Las infraestructuras ya no serán obras, serán sistemas. Queden las bienamadas obras públicas al cuidado de la historia, inventemos ahora los sistemas civiles del futuro.

La concepción sistémica y no la constructivista otorgarán a las nuevas infraestructuras los atributos de modernidad que reclama la sociedad del Veintiuno: interactividad, sofisticación tecnológica, espectacularidad perceptible. El ingeniero influirá con su imaginación y no con sus cálculos; o puede que no influya en absoluto. El éxito de la simbiosis entre ingeniería y nuevas tecnologías no se manifestará en la mejora de la productividad sino en la creatividad (Kroto, 1999). Nuevos objetos, nuevas categorías, nuevas sensaciones. Este renacimiento tecnológico de la era post-industrial situará a la ingeniería civil en la encrucijada, igual que la revolución científico-industrial del Diecinueve hizo con la arquitectura. En los tiempos de la conectividad todo se mueve. El *status quo* es una anécdota dentro de la volatilidad, lo realmente importante son las oportunidades.

Las nuevas tecnologías habilitan la sociedad en red, las relaciones online. Es un fenómeno cuyos efectos sólo se están empezando a percibir, su influencia será determinante en la conformación del futuro. La conectividad no afectará sólo a la parte empresarial del mundo de la ingeniería sino especialmente al individuo

ingeniero, multiplicando su capacidad de acceso a la circulación de las ideas. La conectividad y la movilidad son los grandes aceleradores del pensamiento, su impacto enerva los procesos de creación del conocimiento técnico. Altera el ritmo de la innovación y el ciclo de vida de la ingeniería. La velocidad de circulación de las ideas es lo que marca la diferencia (Joy, 2000). Las nuevas tecnologías no se incorporarán al mundo de las infraestructuras sino al revés, éstas formarán parte del mundo de los sistemas.

La tecnología verá aumentado su papel como intermediaria de la experiencia humana en el futuro. Entre el ser y aquéllo que le rodea, Naturaleza o sociedad, siempre se encontrará algún tipo de artefacto. Así se hará cierto el ideal de Duchamp de tomar lo ordinario y transformarlo en extraordinario, un incentivo perpetuo a la revolución permanente (Foley, 2000). Las nuevas tecnologías también aumentan las posibilidades de personalización de las relaciones entre el hombre y su mundo, la ergonomía será el criterio central de su adaptación a un entorno sin frontera. Si la ingeniería civil está quedándose fuera de la conciencia colectiva en esta sociedad mediática de masas, su alianza simbiótica con las nuevas tecnologías le da la ocasión de situarse de nuevo en la esfera de la relevancia social. La posibilidad de rehacer el mundo con sistemas más inteligentemente organizados, en los que infraestructuras, máquinas y redes cooperan en la gran arquitectura del hábitat artificial en que se convierte el planeta azul.

Pero el cambio tecnológico también viene acompañado de la reacción neo-ludita, de los intereses creados que ven en las nuevas tecnologías una amenaza a situaciones confortables que sólo se sostienen en el inmovilismo de modelos socio-económicos concebidos para perpetuar privilegios y glorias del pasado. Frente al riesgo al fallo que es inherente a lo nuevo, se exhibe la infalibilidad de lo que tantas veces se ha probado. Pero el darwinismo es una doctrina que también puede extenderse al mundo de lo tecnológico. El ecosistema mercado desplaza una realidad o especie técnica cuando se confronta con un competidor más evolucionado, de superior eficiencia. Y eso es dolorosa/gozosamente cierto en la compleja relación entre la ingeniería y las nuevas tecnologías. El conocimiento técnico, la experiencia acumulada en la mente del ingeniero son ahora transcribibles al nuevo soporte inmaterial del software, replicables infinitamente y transmisibles a coste cuasi cero. El conocimiento en la nueva era no es exclusivamente un atributo del ser humano, es un producto, tal vez el producto post-

industrial por excelencia (Richards, 1999). El mundo digital es un medio lleno de oportunidades más que amenazas para los ingenieros pero trastorna el valor de las cosas, crea y destruye.

Una de las (aparentes) contradicciones entre la ingeniería civil y las nuevas tecnologías es el carácter de singularidad relativa que afecta a las obras. Se hace un puente una vez y sólo una, y si tarde o temprano hay que rehacerlo será otro nuevo, un objeto distinto el que se construya. Su uso será general pero el objeto es singular y si hay que hacer otro puente en otro emplazamiento, la obra será otra obra. La idea de singularidad se reconcilia mal con la replicabilidad tecnológica, uno de los atributos inherentes a los objetos de origen post-industrial. Se plantea de nuevo casi un siglo más tarde, el dilema a que se enfrentó Walter Benjamín cuando reflexionaba sobre el futuro de la obra de arte en la época de su reproducibilidad técnica por medios fotográficos. Singularidad frente a multiplicidad generalizada, consistencia masiva frente a inmaterialidad, son categorías extremas de propiedades que hoy separan ambos dominios. Materia, espacio y energía son los tres elementos naturales que condicionan técnicamente las formas y artefactos de la ingeniería civil. Lenguaje, tiempo y conocimiento son los bloques constitutivos de las nuevas tecnologías. La sutura no es inmediata, la sinergia potencial enervante.

Lo inmaterial no es nuevo, de hecho las bases de la civilización tienen orígenes de esta naturaleza en las grandes construcciones culturales del mundo antiguo, la filosofía y el derecho. Lo nuevo de esta era es la tecnología que facilita la creación, la reproducción y la comunicación de lo inmaterial, además en condiciones de tiempo real. Ahora el gran salto tecnológico en términos conceptuales es avanzar cualitativamente en el objeto que se procesa con los nuevos medios técnicos. Pasar del dato al conocimiento, de la estadística a la idea. Los límites de las nuevas tecnologías son de estructura no de capacidad. La inteligencia es la organización del conocimiento, una estructura del lenguaje humano definida por la mente. Es necesario que los autómatas imiten a los seres vivos, ejecutando sus actos con arreglo a las impresiones que reciban y adaptando su conducta a las circunstancias (Torres Quevedo, 1901). Los nuevos artefactos del silicio, la fibra óptica y el software están aún muy distantes de dotarse de una estructura similar. La inteligencia artificial no ha experimentado ningún progreso relevante en los últimos veinte años (Minsky, 2003).

La ciencia clásica, la técnica a que estamos acostumbrados se dirigen principalmente a interpretar y modificar el hábitat natural. Construir es, sin comparación posible, la más antigua y la más importante de las actividades humanas (Nervi, 1955). Las nuevas tecnologías establecen en cambio sus objetivos en torno al hombre, en la convergencia de lo artificial con lo humano. Ahora no es la potencia física sino la inteligencia lo que importa manipular; se trata de la era de las máquinas con espíritu (Kurzweil, 1999). Así se intenta superar el reduccionismo cartesiano que quiso explicar lo orgánico a través de lo mecánico. La trinidad GNR (genómica, nanotecnología, robótica) que previsiblemente reinará en las próximas décadas en el mundo de las nuevas tecnologías puede sentar las bases para una desregulación del poder y de sus medios de coacción. Ello podría dar lugar a una nueva formulación de los conceptos de libertad y de capitalismo, una visión bipolar utópico-distópica del futuro tecnológico. Algunos visionarios lo leen en un tono maníaco-depresivo (Drexler, 2000). La facilidad asombrosa de replicación es además de una característica diferencial de las nuevas tecnologías, una cuestión intrigante. Primero porque lleva a la abundancia de los bienes económicos de este tipo, lo cual altera profundamente las hipótesis doctrinales de la ciencia económica basada en la escasez. Además, porque la posibilidad de la replicación incontrolada abre una incógnita perversa en potencia, especialmente si se traslada al mundo físico a través de la genética, la nanotecnología o la robótica.

Las tecnologías post-industriales modifican además la percepción humana del tiempo, el gran misterio de la vida. Quizá algún día también permitan su manipulación, de modo parecido a como el desarrollo de infraestructuras y máquinas facilitó la modificación humana del espacio. La alteración del tiempo por medios tecnológicos tiene a su vez una especie de contrapartida hemisimétrica en la ingeniería inversa, es decir la hipotética deconstrucción de los nuevos artefactos técnicos. En el ámbito del software la reversibilidad no tiene solución computable unívoca, ya que un autómata finito con una gramática transformacional determinada (máquina de Turing) puede dar lugar a diferentes fuentes según su estado de partida. Se trata de un problema matemático indecidible, es decir una función no-computable (Church, 1936).

Una apreciación bastante corriente de la alteración de las ideas sobre el tiempo que provocan las nuevas tecnologías se manifiesta en las empresas cuando

éstas tratan de esclarecer la aparente falta de sincronía entre el período de retorno de las inversiones en nuevas tecnologías (pay-off) y la duración del ciclo de vida de un determinado sistema. Surge ahí una especie de paradoja porque en número sorprendentemente alto la adopción de innovaciones de este tipo lleva más tiempo a sus usuarios que el que necesitan sus creadores para hacer el desarrollo tecnológico en sentido propio (Brynholfston & Hitt, 2003). Los efectos diferidos en el tiempo provienen por una parte de la relación entre forma cognitiva y dimensión temporal de las curvas de aprendizaje de la tecnología, y también de las características socio-técnicas de las organizaciones que la deben internalizar en sus procesos. De hecho lo que importa, lo que crea realmente diferencias entre unos y otros no es el acceso a las nuevas tecnologías sino la creatividad de quienes las asimilan (Joy, 2000).

El hecho anterior corresponde a la experiencia ordinaria de un gran número de personas, por tanto es algo corriente. Pero su significado es muy sutil y sus consecuencias de trascendencia incalculable puesto que la estabilidad del tiempo, su predictibilidad cronométrica, es la base fundamental del sistema capitalista. El tiempo, falso infinito de los científicos, si nadie me lo pregunta se qué es; si quiero explicárselo a quien me lo pregunta, no lo sé (García Calvo, 1993). Ciencia y economía son pilares del mundo del ingeniero que pierden estabilidad en la nueva era. El carácter eterno de las leyes de la Naturaleza contrasta ahora con la racionalidad post-industrial que es inherentemente compleja y la espontaneidad puede arruinar en un momento lo inmutable de las leyes generales. En la imagen clásica del Universo el futuro está contenido en el pasado (Prigogine, 1972). Incluso en la mecánica cuántica la ecuación de Schrödinger no establece distinción fundamental entre pasado y futuro; el tiempo es un simple parámetro. La tragedia es la historia del hombre escrita al derecho e inspirada al revés (Benet, 1981).

Sin embargo las nuevas tecnologías poseen estructura y coherencia, funcionan a modo de un sistema disipativo cuyo efecto no se traduce en ningún equilibrio sino en la generación de transiciones hacia el no-equilibrio. Su razón de ser es la inestabilidad permanente, la innovación como categoría fenomenológica.

"El cocodrilo de Humboldt no es el cocodrilo de Hegel"

José Restrepo

5. In pura: la innovación como ingeniería pura

"Vendavales perennes de destrucción creadora"
Joseph A. Schumpeter

"El recuerdo es la patria de los barcos hundidos"
Nuria Capmany

La innovación es el arte hasta cierto punto mágico de crear valor explotando alguna forma de cambio, tecnológico o de otra naturaleza. Las empresas innovadoras crean nuevos mercados o explotan de forma diferente los que ya existen. Todavía intentamos comprender los mecanismos que subyacen en esta misteriosa forma de creación de riqueza que procede de la figura del entrepreneur. Las innovaciones no sólo rompen moldes sino que también cosechan mayor beneficio económico que los negocios convencionales, a expensas del riesgo. Se puede pensar en la innovación como una incógnita en la ecuación del crecimiento económico. Es un factor relevante pero que no se sabe exactamente cómo y cuánto influye. Innovar significa actuar sobre el entorno. El progreso no reside en la cosa misma, sino en la conversión de la cosa en bien (García Morente, 1932).

La innovación se ha convertido en la religión industrial del Veintiuno. Las empresas comprenden ahora con claridad que la innovación constituye la clave para aumentar sus beneficios y ganar cuota de mercado, o simplemente para sobrevivir a medio plazo. Los gobiernos inteligentes la impulsan tanto como pueden con el fin de fortalecer el desarrollo económico sostenido de sus naciones. En el mundo desarrollado la retórica de la innovación va desplazando en los medios de comunicación a otros conceptos que pierden vigor: estado del bienestar (Daines, 1999). La innovación es la nueva teología económica que une a la izquierda y a la derecha en sus proyectos políticos de futuro.

Definir qué es innovación resulta complicado y más aún medir la cantidad de innovación que hay detrás de una idea o proceso de nueva concepción. La innovación se asocia de manera intuitiva al concepto de mejora o progreso en el ámbito técnico o económico. La innovación es un fenómeno más sutil y complejo que la I+D, designación genérica de la investigación científico-técnica. Entender las claves de la innovación significa comprender cómo surge ésta, qué contextos de mercado y qué condiciones de política económica son más proclives para su florecimiento. También cómo llega a los mercados de productos y servicios, y finalmente cómo triunfa y se convierte en

una fuerza creadora de valor económico. La innovación exige un ecosistema propio (Suchman, 2000). El mundo de las nuevas tecnologías vive de la innovación permanente, es un observatorio privilegiado para analizar hechos y contrastar teorías.

El cambio técnico es el reino del ingeniero, pero no basta. La relación entre novedad tecnológica e innovación (su adopción por el mercado) es compleja y en ella intervienen factores diversos (Gibbons, 1975). La innovación en su sentido más prístino significa discontinuidad, fractura del orden establecido. Es una especie de Prometeo desencadenado, de ahí la acertada frase de Schumpeter: El cambio también puede materializarse mediante una sucesión de acumulaciones infinitesimales, pero ese modelo normalmente produce mejoras en la productividad o reducción de costes, no crea ni destruye mercados y carece del sello de lo genuinamente nuevo y revolucionario. Las tecnologías industriales poseen muchas características comunes que han guiado su evolución a lo largo del Veinte: dependencia de la ciencia, elevado coste de desarrollo, incertidumbre en su camino sinuoso hacia el mercado. El cambio tecnológico se ha concebido como una variable exógena en los procesos de crecimiento, con consecuencias económicas claras pero con un origen causal poco entendido (Schmookler, 1966).

En la era post-industrial la innovación se debe interpretar dentro de su contexto concreto de aparición. No como un factor abstracto sino en la condición de producto de un medio social que acepta la cultura del riesgo y se materializa en valores e instituciones, en sistemas de incentivos concretos. El Silicon Valley es el fenómeno que ha capturado estos últimos años la atención de expertos y medios y demuestra el aserto anterior (Cohen, 1999). Situar la innovación en su contexto, es decir no sólo como consecuencia del trabajo técnico de los ingenieros sino como producto de unas circunstancias más amplias, es obligatorio para aproximarse a este fenómeno influyente. Evitar el error que considera el progreso técnico como producto exclusivo de una dinámica interna propia, inherente a cada especialidad. No es epidérmica o secundaria la importancia que sobre la innovación ejercen fuerzas sociales o económicas más amplias.

En los últimos años surge una orientación historiográfica nueva dirigida a la deconstrucción tecnológica. Estudia los diseños y desarrollos asociados con el fenómeno de la innovación con el fin de revelar sus orígenes sociales de una manera más amplia. La deconstrucción de la tecnología conlleva la reconstrucción del contexto social y económico en que ésta se produce. La deconstrucción del fracaso del puente colgante de Les Invalides proyectado por el admirable Navier en torno a 1820 muestra cómo dentro de las prácticas profesionales de la ingeniería civil del Diecinueve existían

relaciones entre estructura social, ideología y patrones de desarrollo tecnológico (Kranakis, 1997). El caso del puente fallido da pie a explicar algunas de las diferencias sociológicas que existían entre la ingeniería aristocrática que se practicaba en Francia y la de corte democrático que predominaba en los países anglosajones.

La interdependencia entre innovación y contexto socio-económico se manifiesta con nitidez en el caso de la última revolución, la de las tecnologías de la información y la comunicación. El análisis del esplendor del Silicon Valley muestra la interacción entre instituciones, individuos y un determinado sustrato cultural de aceptación del riesgo. Es un ecosistema de resultados sobresalientes (Kenney, 2000). En el centro de todas las cuestiones que se plantean en torno al Valley se encuentra el tema de la innovación, distinguiendo entre este término y el de la invención técnica. Innovación significa en todo caso creación de valor económico, es decir requiere situar en el mercado los conocimientos producidos. El riesgo de competir y aún más el riesgo de fracasar son elementos centrales al proceso innovador. La forma en que un entorno social o profesional se enfrenta con el riesgo y su actitud ante éste, determinan en buena medida su capacidad de innovación a medio plazo. La rapidez de evolución de nuestra civilización está determinada por su grandeza espiritual, es proporcional al número de individuos de élite y a la calidad de su pensamiento (Caquot, 1953).

El capitalismo no puede existir sin revolucionar constantemente los instrumentos de producción (Marx, 1848). Lo importante del cambio tecnológico no es sólo su intensidad sino sus formas de propagación. Las innovaciones no funcionan aisladas, su efecto real se produce en el entorno de un sistema más amplio. Por ello son tan importantes las relaciones inter-empresariales para la extensión de los efectos de la innovación, la creación de externalidades y efectos derrama. La innovación se amplifica cuando se produce dentro un contexto económico en red. La red será el icono del Veintiuno igual que el átomo lo fue del siglo anterior. La noción de red como sistema de relaciones en malla es esencial para establecer incentivos al esfuerzo innovador. Los ecosistemas que envuelven a la innovación tienen estructura de red.

El mundo contemporáneo ha cambiado su percepción de la épica heroica de la ingeniería. El heroísmo se ha trasladado desde el campo de la construcción de infraestructuras al de la innovación tecnológica. Innovación que se sitúa dentro de los mercados de masas entrando a formar parte de los significantes culturales de la época. La ingeniería de infraestructuras se queda en la rutinización de lo cotidiana-

no, casi sólo atrae a los medios por sus efectos negativos y fracasos. La causa de este mal es la especialización, la parcelación, el enmudecimiento de los ingenieros. Cuando se producen contribuciones al progreso, en realidad admirables y gratas, lo son aisladamente, convirtiéndose de esta manera en finalidades en sí mismas (Rui-Wamba, 1998). En una cultura como la nuestra con una larga tradición de fraccionar y dividir para controlar, puede ser un choque que le recuerden a uno que operativa y prácticamente el medio es el mensaje (McLuhan, 1964).

Una cuestión sobre la que aún no se posee una explicación bien definida es cómo en un determinado mercado influye la estructura de la demanda sobre el proceso de innovación tecnológica. Los estudios empíricos sobre este tema se vienen prodigando desde los años cincuenta y la controversia iniciada tiempo atrás aún continúa (Batelle Research Institute, 1973). Las fuerzas detrás del cambio tecnológico no son fáciles de desvelar. Razonando en términos micro se podría establecer una dicotomía entre factores de demanda (preferencias de los consumidores o usuarios) y factores de oferta (propensión de las empresas a desarrollar nuevas ideas o productos). El resultado final dependerá de la interacción de esos dos tipos de factores (Gibbons, 1974) aunque la tasa de innovación tecnológica será en algunos casos más bien consecuencia de las exigencias de la demanda y en otros vendrá de la capacidad creativa de la oferta. Cuando la demanda no transmite señales reclamando innovación o la oferta no muestra capacidad o interés en desarrollar nuevas ideas, entonces las probabilidades son altas de que el progreso técnico sufra un estancamiento.

En la ingeniería de infraestructuras la evidencia empírica muestra que la innovación es más débil que en otras ramas de la industria y de las nuevas tecnologías (OPTI, 2003). La estructura imperfecta de la demanda (monoposonio público) y el Estado que se sitúa entre usuarios y productores de infraestructuras, tienen bastante que ver en ello. La actitud de los gobiernos y las políticas de demanda que ejecuta la Administración para la provisión de bienes públicos condicionan el futuro de estos sectores en términos de potencial innovador y percepción pública (Gilpin, 1975).

Las revoluciones constructivas son menos un fruto del método que de las ideas nuevas. Ello implica riesgos y mucha paciencia, pero evita el estancamiento técnico producido por una especie de petrificación del espíritu (Le Ricolais, 1968). De acuerdo que la innovación en las infraestructuras es un proceso lento y de naturaleza aún predominantemente endógena. Las rupturas de continuidad en ese campo se producen con tan pequeña frecuencia que recuerdan las ondas largas de

Krondatieff. Una corriente de opinión dentro de la ingeniería civil estima que la última novedad cuánticamente relevante para el sector fue la invención del pretensado por Freyssinet, y eso ocurrió hacia 1928. Si ello es así, la latencia del pulso innovador definitivamente no es consistente con el espíritu de los tiempos. Los ingenieros civiles deberían abrir un diálogo terapéutico con el mundo de la innovación tecnológica. Salirse del marco tradicional de las prescripciones y códigos establecidos significa siempre un riesgo para el ingeniero. Quienes asistieron al nacimiento del hormigón armado recuerdan los obstáculos casi insuperables que Hennebique tuvo que sufrir (Maillart, 1934).

La innovación es el arte supremo dentro de la ingeniería, la exégesis de su capacidad creativa más pura y un salto cuántico en el orden técnico. La innovación es resultado de la tecnología aunque el cambio tecnológico no es suficiente por sí mismo para llegar al mercado. La tecnología trasciende a la ingeniería, en cierto modo es producto de ella y al mismo tiempo es un concepto de mayor envergadura. Las relaciones entre ingeniería y tecnología son auto-reflexivas y la técnica es el concepto raíz que subyace en ambos términos. La técnica es el arte de cambiar una realidad natural por medio de artificios. La meditación sobre la técnica en su sentido actual proviene de la Edad Moderna, cuando la Enciclopedia prestó atención a todas las técnicas (en particular las mecánicas) incorporándolas al saber humano. La incorporación fue tan completa que en algún momento se ha considerado que la técnica no es un saber sino más bien que el saber es fundamentalmente técnico (Ferrater Mora, 1968). La filosofía de la técnica necesita un sistema de conceptos dentro de los cuales puedan plantearse los problemas básicos comunes a todas las tecnologías.

Los filósofos en general han sido hostiles a la técnica. Incluso en ocasiones se han llegado a postular aberraciones como la inevitabilidad de la alienación del ser humano por la tecnología. El hombre interpela por la técnica a la Naturaleza, provocándola (Heidegger, 1954). Por su actitud frente a la tecnología sería más justo distinguir entre los filósofos establecidos y los revolucionarios. Los primeros no pusieron en cuestión con sus teorías el orden de la época en que vivían, mientras que los filósofos de la revolución entendieron su obra como un medio al servicio del cambio social. Marx fue un gran estudioso de la tecnología a la que atribuyó un potencial transformador del mundo. Su filosofía de la historia y sus tesis sobre economía política se encuentran a menudo apoyadas en referencias al progreso técnico. La tecnología desvela el modo que tiene el hombre de tratar con la Naturaleza, el proceso de producción

mediante el cual sostiene su vida. A partir de ahí también establece el modo de formación de sus relaciones sociales y la concepción mental que fluye de ellas (Marx, 1867). El método seguido por el materialismo histórico en el Diecinueve ponía el énfasis en las interacciones y conflictos entre clases sociales e instituciones, no individuos. De esa manera la invención y la innovación no menos que otras actividades socioeconómicas, se analizarían mejor como procesos sociales que como resultados de la inspiración del genio individual. Estableciendo una correspondencia determinística entre la naturaleza discontinua de la evolución social y la dinámica de formación de las fuerzas productivas bajo el sistema capitalista, incluyendo la tecnología.

Ciencia y técnica están estrechamente relacionadas pero la filosofía de la ciencia arroja poca luz sobre el fenómeno de la tecnología. La filosofía de la ciencia está influida por dos escuelas de pensamiento articuladas en torno a las obras de Popper y Khun, respectivamente. La visión popperiana de la ciencia es académica, es decir tiene en cuenta sólo la ciencia pura como medio objetivo de alcanzar la verdad irrefutable, excluyendo la técnica. Argumenta que la tecnología se encuentra determinada por el mercado y por tanto no entra en el ámbito del examen filosófico. Según esta corriente la filosofía se contenta con un papel subordinado y renuncia a desvelar la estructura de las acciones y del conocimiento humano. La objetividad de la ciencia no es un producto de la imparcialidad del científico sino del carácter social o público del método basado en los criterios de falsabilidad y prueba. La objetividad es una categoría organizada social e institucionalmente (Popper, 1962). La filosofía de Khun proviene del estudio de la historia de la ciencia desde una perspectiva endógena, del papel central que desempeña en este campo el concepto de paradigma. La ciencia normal (rutinaria) se produce en un contexto de estabilidad paradigmática y es distinta de la ciencia revolucionaria que provoca crisis y sustitución de paradigmas. El dualismo de Khun no consigue explicar las innovaciones tecnológicas más profundas, las que provocan discontinuidad. Muchas innovaciones no son endógenas sino que provienen de gente de fuera. ¿Cuántos grandes inventores del Veinte no fueron ingenieros ni científicos graduados?

Los efectos de la innovación tecnológica en las actividades creativas no se circunscriben al mundo de la ingeniería, también se aprecian con claridad en el mundo de la arquitectura. De hecho la tecnología crea un fuerte nexo de unión entre las dos disciplinas, algunos arquitectos notables del último siglo lo han puesto de manifiesto. Donde la tecnología alcanza su verdadero contenido, trasciende a la arquitectura (Mies van der Rohe, 1953). La tecnología del hierro fundido y después del acero

llevaron en su día la ingeniería estructural a los edificios. Los nuevos materiales están cambiando la percepción pública de las formas arquitectónicas.

La importancia tan profunda de la innovación no se puede comprender exclusivamente desde el ámbito especializado de las prácticas profesionales de prestigio. Es en la vida cotidiana mediatizada por la tecnología hacia donde vale la pena orientar el esfuerzo interpretativo, tanto o más que hacia la ingeniería de grandes obras. En el dominio de lo cotidiano se experimenta una curiosa paradoja. Somos usuarios directos de una amplísima variedad de artefactos técnicos que facultan nuestras actividades de comunicación, trabajo, et cetera, y en gran medida desconocemos las tecnologías que utilizamos. Esto afecta de modo muy similar al profesional experto y al público en general. La situación se caracteriza al mismo tiempo por nuestra ignorancia de las nuevas tecnologías y nuestra fe en ellas (Vink, 1999).

La comprensión de la técnica como forma especial del conocimiento obliga a observar el trabajo de los ingenieros. La tecnología no puede entenderse sin conocer los valores, los hábitos y las pasiones de los ingenieros. Es necesario contemplar la innovación desde la parte humana de la caja negra. El estudio de la innovación se convierte en una investigación etnográfica cuando se quiere entender la tecnología partiendo del comportamiento del ser humano que la produce, el ingeniero.

La tecnología no surge sólo como resultado de la aplicación de principios, métodos o herramientas a un problema de nuevo cuño. La innovación supone el concurso de muchos elementos implícitos, conocimientos y convenciones. Detrás de un nuevo diseño normalmente hay una historia colectiva. Son múltiples las especulaciones sobre las causas y consecuencias sociales del cambio tecnológico, metodologías y prescripciones técnicas proliferan en el entorno que rodea permanentemente al ingeniero. A pesar de ello no se conoce bien cómo tiene lugar el proceso de creación mágica que tanto desborda el curso predecible de la razón técnica rutinaria.

Las ciencias humanísticas son testigo del interés creciente en comprender la praxis real de la ingeniería (Bucciarelli, 1994). La etnografía se incorpora al estudio de la tecnología con el fin de desvelar los patrones del comportamiento humano del ingeniero. Un ingeniero imagina (Rice, 1992). Pensar en la innovación es pensar en ingeniería pura.

"He soñado tanto contigo que pierdes tu realidad"

Robert Desnos



FUNDACION
ESTEYCO

Menéndez Pidal, 17 . 28036 Madrid
fundacion@esteyco.es · www.esteyco.es



FUNDACION
ESTEYCO