

LA INGENIERÍA EN LA SOCIEDAD DEL RIESGO

*Conferencia pronunciada
por el Académico Titular Dr. Ing. Mario J. A. Solari
en oportunidad de su incorporación
a la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires,
en la sesión pública del 3 de noviembre de 2010*

Presentación

por el Académico Titular Ing. Luis A. de Vedia

El Dr.-Ing. Mario J. A. Solari se graduó como Ingeniero Mecánico en la Universidad Nacional de Rosario en el año 1972 y como Doctor en Ingeniería en la Universidad Nacional del Sur en 1985. Realizando Cursos de Posgrado dentro del marco del Programa Multinacional de Metalurgia OEA-CNEA (Organización de los Estados Americanos y Comisión Nacional de Energía Atómica).

Fue Investigador en la División Solidificación y Fundición del Departamento de Metalurgia de la CNEA, bajo la Dirección del Ingeniero Heraldo Biloni. Luego fue Jefe de la División Tecnología de la Soldadura en la CNEA, así como Director del Proyecto de Tecnología de la Soldadura SECYT-CNEA (Secretaría de Ciencia y Técnica). Se desempeñó como Jefe del Departamento de Materiales (Proyecto de la Central Nuclear Atucha II) en la Empresa Nuclear Argentina de Centrales Eléctricas (ENACE S.A.) perteneciente a CNEA y KWU-Siemens.

Como Investigador Independiente del CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas) desarrolló sus tareas en el LEMIT CIC (La Plata) y fue Director del Programa de Investigaciones en Aceros Inoxidables. LEMIT/UNLP/CONICET.

En el ámbito privado fundó la empresa Consultores de Tecnología e Ingeniería CTI SRL, participando de trabajos de ingeniería en el Latinoamérica.

Es miembro de ASME (American Society of Mechanical Engineers). Profesor visitante en la Universidad Nacional de la Plata y en la Universidad Austral. Fue distinguido por ASME como Authorized Global Instructor. En tal carácter ha elaborado y dicta en Latinoamérica, certificados por ASME, cursos de integridad estructural, análisis de fallas y evaluación de aptitud para el servicio.

Entre los trabajos de investigación realizados se destacan sus publicaciones en *Journal of Crystal Growth*, *Welding Journal*, *Welding and Metal Fabrication*, *Materials Characterization*, *Revista*

de Metalurgia, CENIM, España, *Revista Soldadura*, IAS, AGA *Cutting and Welding Newsletter*, y en *Documentos del International Institute of Welding (IIW)*.

Fue autor invitado de capítulos en tres libros técnicos. Los más recientes son: “Risk Based Metallurgical Design”, capítulo del libro *Handbook of Mechanical Alloy Design*, Ed. G. Totten, K. Funatani and L. Xie, publicado por M. Dekker Inc., USA, Nov. 2003. “Component Design”, capítulo del libro *Failure Analysis of Heat Treated Steel Components*, Ed. G. Totten, ASM, USA, 2008.

Dirigió y fue jurado de Tesis Doctorales. En el ámbito docente fue Profesor Titular de Metalurgia y Fundición, Facultad de Ingeniería, Universidad de Belgrano. Como Profesor Visitante dictó numerosos cursos y conferencias en Universidades de Argentina, Brasil, Bolivia, Chile, Colombia, Cuba, México, Perú, Ecuador, El Salvador, Uruguay y Venezuela.

El Dr. Solari propuso y organizó, desde CNEA, el Primer Curso de Ciencia y Tecnología de la Soldadura (Nivel Ingeniería de Soldadura) (1981), posgrado de 400 horas de duración.

Como Jefe de la División Tecnología de la Soldadura de CNEA propuso e implementó el Sistema para la Formación, Calificación y Certificación de Personal del área de Soldadura.

El Dr. Solari propuso y realizó, como presidente del Comité Organizador, el Primer Congreso Argentino de Soldadura. Evento realizado en noviembre de 1978 en el Centro Gral. San Martín, Buenos Aires, con más de 300 participantes de 14 países.

Fue el primer Presidente (1996-1999) de la Asociación Argentina de Soldadura, creada bajo los auspicios de la GTZ (Agencia de cooperación perteneciente al gobierno de Alemania).

Fue Miembro de la Comisión Asesora de Ingeniería y Tecnología del CONICET. Participó en los Comités de Normalización.

Consultor con más de 30 años de experiencia en gestión de integridad en las industrias de Gas y Petróleo, Química, Siderúrgica, Papelera, Manufacturera, Hidroeléctrica y Nuclear.

Durante el período de mayor actividad del Plan Nuclear Argentino 1977-1982, realizó numerosos trabajos dentro del marco de la construcción de la Central Nuclear Atucha II, la construcción de la Planta de Agua Pesada, Loop de Alta Presión Ezeiza, etc.

En 1981, el Dr. Solari fue delegado de CNEA en las empresas GHH (Alemania) - Voest Alpine (Austria), ENSA (España) vinculado con la fabricación de los componentes pesados (Recipiente del Reactor y Generadores de Vapor) para la central Nuclear Atucha II.

También participó del Proyecto del Segundo Sumidero de Calor para la Central Nuclear ATUCHA I.

Participó del desarrollo del Procedimiento de Soldadura utilizado en la fabricación de la soldadura longitudinal del Gasoducto NEUBA II, Loma de la Lata - Buenos Aires. Con este desarrollo se logró duplicar la velocidad de producción.

El Dr. Solari inició en 1989 una fructífera relación de consultoría y transferencia de tecnología con YPF, que continúa hasta la actualidad. A través de diversos convenios y contratos corporativos de prestación de servicios ha trabajado en análisis de falla, aptitud para el servicio, inspección, determinación de vida remanente, análisis de riesgo.

Contribuyó a introducir e implementar los procesos de Inspección Basada en Riesgo en las industrias del gas y petróleo de Argentina, Perú y Bolivia, así como difundió su conocimiento en México, Ecuador, Chile, Venezuela, Brasil, Uruguay, Perú, Bolivia, El Salvador, Colombia, Cuba.

Actualmente participa en el desarrollo del Concepto de Rotura (Break Preclusion) para el Proyecto de la Central Nuclear Atucha II, como integrante de un panel de expertos asesora a la Hidroeléctrica Yacyretá. Además, supervisa la implementación de diversos Proyectos de Inspección Basada en Riesgo para las industrias del petróleo y gas.

Finalmente, deseo agregar que al Dr.-Ing. Solari le toca ocupar el sitial Ing. Luis A. Huergo de esta Academia, sitial que ocupara hasta su fallecimiento hace ya un año el Ing. Pedro Vicien. Los que tuvimos la suerte de conocer al Ing. Vicien, sabemos de su competencia profesional, calidad humana y hombría de bien. Estoy seguro que el Ing. Solari es un digno sucesor para ocupar ese sitial vacante. Las inquietudes del Ing. Solari, que van más allá de su campo específico profesional, lo hacen un integrante particularmente apropiado de una Academia que, como la nuestra, se caracteriza por su quehacer multidisciplinario.

LA INGENIERÍA EN LA SOCIEDAD DEL RIESGO

Dr. Ing. MARIO J. A. SOLARI

1. Introducción

Constituye para mí un gran honor y responsabilidad haber sido designado Académico Titular de la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires, designación que agradezco profundamente. Elaborar esta conferencia con motivo de mi incorporación a la Academia representa un gran desafío y una oportunidad.

Desafío de intentar estar a la altura de los distinguidos miembros de esta Academia, y en particular por el significado de ocupar el sitial “Luis A. Huergo”. El ingeniero Huergo ha sido reconocido como el “Primer” ingeniero argentino, tanto por su graduación como por la magnitud de su obra. Esta conferencia constituye una oportunidad de exponer mi visión personal sobre algunos aspectos de la ingeniería en la sociedad actual.

Los objetivos de este trabajo son:

- a) Reflexionar sobre el rol de la ingeniería en la sociedad del riesgo, y
- b) Mostrar la necesidad de ampliar la visión de la ingeniería y desarrollar un enfoque multidisciplinario, socio-ingeniería, capaz de afrontar los desafíos de una sociedad que tiene razones crecientes para cuestionar la idoneidad de la ingeniería, tanto para medir los riesgos como para fijar los niveles de riesgos admisibles.

En el ámbito de esta Academia de Ciencias no es mi objetivo en esta conferencia alabar el rol protagónico de la ciencia y la tecnología durante la revolución industrial, con conceptos que todos compartimos. Por el contrario pretendo reflexionar respecto de las afirmaciones que

formulan diferentes autores sobre el fracaso de la gran promesa del progreso.

Erich Fromm¹ sintetizó su crítica afirmando que *“La gran promesa de un progreso ilimitado ha sostenido la esperanza y la fe de la gente desde el inicio de la época industrial... la época industrial no ha podido cumplir con su Gran Promesa”*. Fromm se refirió a las promesas de dominar la naturaleza, de abundancia de material, de la mayor felicidad para el mayor número de personas y de libertad personal sin amenazas. Afirmando, en plena “guerra fría” que *“El progreso técnico ha creado peligros ecológicos y de guerra nuclear; ambos pueden terminar con la civilización, y quizás con toda la vida”*.

Paul Virilio, acomete directamente contra la ingeniería al afirmar que *“inventar el barco a vela o de vapor es inventar el naufragio, inventar el tren es inventar el accidente ferroviario del descarrilamiento, inventar el automóvil es producir choques en cadena en la autopista. Hacer que despegue un objeto más pesado que el aire, el avión, es inventar la caída de aeronaves... En cuanto al transbordador Challenger, su explosión es el accidente original de un nuevo artefacto”*².

El sociólogo Ulrich Beck³, autor de *La Sociedad del Riesgo Mundial. En busca de la seguridad perdida*, dice que el proyecto de la modernidad ha fallado en controlar los riesgos que ha producido. Los éxitos del progreso con su potencial transformador tienen como contracara un potencial destructivo con capacidad de originar riesgos “fabricados”, más allá de lo que hasta ahora era habitual.

Mi experiencia en el campo de la ingeniería, vinculada a instalaciones peligrosas, motivó mi interés por el contexto social. Voy a asumir el “riesgo” de alejarme de la ingeniería y analizar las raíces del riesgo y su rol en la sociedad. También asumo la responsabilidad por los aspectos éticos y políticos que recurrentemente introduzco en el análisis. El celebre astrónomo A. Eddington (1882-1944) justificó su interés por ampliar su visión del mundo diciendo *“entro en aguas profundas de la filosofía, no para demostrar que soy buen nadador sino para demostrar que son profundas”*⁴.

¹ Erich Fromm, *¿Tener o ser?*, Ed. 12ª, Argentina, FCE, 2009, p. 21.

² Paul Virilio, *El accidente original*, Buenos Aires-Madrid, Amorrortu Editores, 2009, p. 25.

³ Ulrich Beck, *La sociedad del riesgo mundial*, Ediciones Paidós Ibérica, 2008, p. 20.

⁴ Arthur S. Eddington, *La naturaleza del mundo físico*, Buenos Aires, Ed. Sudamericana, 1945.

2. Peligros, accidentes, catástrofes, vulnerabilidad y riesgos

Estamos en una cultura del riesgo, empleamos conceptos de riesgo en áreas tan diversas como la ingeniería, medicina, economía, sociología, ciencias de la tierra, abogacía. Tomamos la decisión de invertir dinero según el riesgo país, hacemos ejercicios físicos para minimizar el riesgo cardíaco, determinamos la efectividad y frecuencia de inspección de un recipiente sometido a presión a partir de la evaluación del riesgo tecnológico, gran parte de las decisiones empresarias se basan en riesgo, vaticinamos catástrofes por el riesgo al calentamiento global o a la pandemia de gripe porcina (H1N1), reducimos el riesgo a un ataque terrorista prohibiéndole a los pasajeros transportar líquidos en el transporte aéreo.

La crisis global del 2008, mostró dramáticamente la precariedad de las metodologías basadas en riesgo, en cuanto que no fueron capaces de permitir tomar decisiones acertadas en los asuntos económicos, a pesar de su empleo muy difundido en las instituciones bancarias. Mientras creíamos haber asumido riesgos razonables y bajo control resultó que corrimos riesgos irrazonables con consecuencias catastróficas. Se ha instalado en la sociedad la *percepción* de que no somos capaces de controlar los riesgos. Tratamos de resolver las crisis aplicando los manuales de gestión destinados a la normalidad, aun en los casos en que no disponemos de antecedentes históricos. Cuando lo recomendable sería encarar tales crisis con liderazgo, creatividad y coraje.

Un *peligro* es la condición que causa heridas o muerte, pérdida de equipos o propiedades, deterioro ambiental. La situación se torna más crítica cuando se incrementa tanto el peligro (ej. incremento de la cantidad de energía y posibilidad de su liberación), como la *vulnerabilidad* de los sujetos receptores susceptibles de ser dañados (personas, medio ambiente o bienes).

Una *catástrofe* es un suceso infausto que altera gravemente el orden regular de las cosas. Se asocia con destrucción. También se considera catástrofe a un cambio brusco de estado de un sistema dinámico, provocado por una mínima alteración de uno de sus parámetros. Cuando un accidente tiene un gran poder de destrucción se lo considera *accidente catastrófico*.

A los accidentes catastróficos los clasificamos por su origen en *catástrofes naturales* o en *catástrofes artificiales*. Los seres humanos tenemos diverso grado de responsabilidad en ambos tipos de catás-

trofes. En las catástrofes naturales somos responsables de la prevención y del grado de vulnerabilidad de las personas e instalaciones. En las *catástrofes artificiales* somos responsables de crearlas en forma involuntaria o voluntaria, como el caso del terrorismo.

Las catástrofes pueden desarrollarse en escenarios locales o globales, mientras que algunas ocurren por cambios bruscos, otras pueden tener efectos a muy largo plazo. Los peligros más temibles son aquellos impensables, imposibles de predecir. “*Lo impensable y lo improbable ocurre cada vez con mas frecuencia*”⁵.

Veamos un ejemplo de catástrofes naturales. Durante siglos los fenómenos naturales fueron relacionados con designios divinos y asociados con el miedo. El 1 de noviembre de 1755 un fuerte terremoto en Lisboa mató aproximadamente a 100.000 personas. La carta enviada por Rousseau a Voltaire, fechada el 18 de agosto de 1756, precisa la responsabilidad humana en el siniestro de Lisboa: “*Sin apartarme del asunto de Lisboa, admita usted por ejemplo que la Naturaleza no construye veinte mil edificaciones de seis o siete pisos (en Lisboa) y que si los habitantes de esa gran ciudad hubieran estado más equitativamente distribuidos y menos hacinados los daños hubieran sido mucho menores y quizás, insignificantes*”. El terremoto de Lisboa constituye un hito en cuanto a que el Estado aceptó la responsabilidad de las tareas de búsqueda y rescate, y el diseño e implantación de un programa de reconstrucción.

Los fenómenos naturales continúan provocando enormes catástrofes, por ejemplo en 2004, en Indonesia se produjo un gran terremoto de magnitud 9.1 que causó un tsunami desastroso en el Océano Índico causando más de 220.000 muertos. El terremoto de Chile de 2010, fue 500 veces más potente que el de Haití ocurrido un mes y medio antes, sin embargo en Haití los muertos se cifran en más de 250.000 (sobre una población total de 10 millones de personas), mientras que en Chile no superaron el millar (sobre una población de 17 millones de personas). Es evidente, que el mayor desarrollo de Chile respecto de Haití permitió reducir la vulnerabilidad de su población ante los terremotos.

Ahora analicemos las catástrofes artificiales, es decir las producidas por el ingenio humano. Aquellas como el hundimiento del *Titanic*, que causó 1.500 víctimas o la explosión del dirigible *Hindenburg*. El *Hindenburg* fue un dirigible alemán destruido a causa

⁵ X. Guilhou y P. Lagardec, *El fin del riesgo cero*, Buenos Aires, Ed. El Ate-neo, 2002, p. 23.

de un incendio cuando aterrizaba en Nueva Jersey el 6 de mayo de 1937. En el siniestro murieron 35 personas (alrededor de un tercio de las personas a bordo). El *Hindenburg* y su gemelo el *Graf Zeppelin II* fueron las dos mayores aeronaves jamás construidas. El *Hindenburg* era un nuevo diseño, completamente hecho de duraluminio: 245 m de largo, 41 m de diámetro, 16 bolsas (14 de hidrógeno y 2 balones de aire) con una capacidad de 200.000 m³ de gas. Alcanzaba una velocidad máxima de 135 km/h. El *Hindenburg* era más largo que tres Boeing 747 juntos, y casi tan largo como el *Titanic*.

Del accidente del *Hindenburg*, surgen varios aspectos que deben ser destacados. Este accidente constituyó un hito en la comunicación de las catástrofes empleando los medios masivos de comunicación disponibles. La magnitud del accidente fue *amplificada* por el empleo de la radiofonía y el cine. Supuso el fin de los dirigibles como medio de transporte, aunque aún se discute si fue un accidente involuntario o un atentado. Además, es un ejemplo de la importancia de la relación entre poder y tecnología. El *Hindenburg*⁶ fue el máximo exponente de la tecnología de su época y un símbolo del totalitarismo de la Alemania nazi. El poder político siempre ha utilizado logros de la ciencia y la tecnología para sus propios fines. En las catástrofes artificiales, aunque sean involuntarias, la responsabilidad humana es total, especialmente la responsabilidad de los científicos y técnicos, así como la del poder político. El poder explosivo del hidrógeno almacenado en este artefacto no era desconocido por sus diseñadores, por razones políticas no dispusieron del gas inerte helio, y sin embargo fue autorizado su uso, y aprovecharon las ventajas de la mayor sustentación del hidrógeno para agregar aún más pasajeros.

La técnica es el aspecto objetivo del actuar humano cuyo origen y razón de ser está en el elemento subjetivo: el hombre que trabaja⁷. La técnica se inserta en el mandato de cultivar y custodiar la tierra, de “someted la tierra” en palabras bíblicas. Es lícito que el hombre gobierne responsablemente la naturaleza para custodiarla, hacerla productiva y cultivarla también con métodos nuevos y tecnologías avanzadas, de modo que pueda acoger y alimentar dignamente a la población que la habita.

Hace 75.000 años, el hombre ya disponía de tecnología para fabricar puntas de flechas, éstas constituyeron un gran avance en

⁶ Paul Virilio, *El accidente original*, Buenos Aires-Madrid, Amorrortu Editores, 2009.

⁷ Carta Enc. *Caritas in Veritate*, 2009.

cuanto a satisfacer necesidades de alimentación y defensa, pero indudablemente deben haber sido también empleadas para matar a otros seres humanos. Hoy la tecnología permite construir cohetes capaces de llevar al hombre a la Luna, pero también construir cohetes intercontinentales capaces de portar una bomba atómica. Vemos que la técnica progresó en forma inimaginable, sin embargo el hombre sigue esencialmente siendo el mismo en cuanto a su inclinación agresiva y destructiva. Hay un desacople entre el avance de la tecnología y las obligaciones morales.

Se atribuye al error humano más del 50% de los accidentes involuntarios, si agregamos el efecto de la irresponsabilidad humana, la intención de dañar y el terrorismo, concluimos que la confiabilidad humana es un factor primario como causa de las catástrofes artificiales.

Los accidentes catastróficos son cada vez más severos y frecuentes debido al aumento de exposición, al haber más personas y bienes vulnerables, y al incremento de la capacidad humana de crear peligros. Esta situación nos produce ansiedades que debemos contrarrestar desarrollando herramientas para su control y una cultura de la seguridad.

Pero, ¿somos responsables de la totalidad de los accidentes manufacturados? Para Aristóteles⁸ “*El que hace una casa no hace los diversos accidentes, cuyo sujeto es esta construcción, porque el número de los accidentes es infinito*”, esta afirmación invita a reflexionar más profundamente sobre el tema de las responsabilidades.

Cuando aún no se materializó la catástrofe, pero terminó la seguridad, hablamos de riesgos. El *riesgo*, es la posibilidad de que suceda o no un daño, es la contingencia de un daño. Está relacionado indisolublemente con el peligro y la vulnerabilidad. No hay vulnerabilidad sin peligro. Un terremoto en Marte no constituye una catástrofe, en la medida en que no hay nada ni nadie vulnerable en su entorno.

La ingeniería⁹ mide el riesgo como el producto entre la probabilidad (o frecuencia de ocurrencia) y las consecuencias (o severidad) de un peligro. Limitándose su alcance a un ambiente específico y durante un período de tiempo determinado. Tomamos riesgos razonables cuando podemos ejercer un control al menos parcial de los

⁸ Aristóteles, *Metafísica*, Buenos Aires, ESPASA CALPE S.A., Colección Austral, 1948, Libro VI, n. II.

⁹ Nicholas Bah, *System Safety Engineering and Risk Assessment*, Philadelphia, Taylor & Francis, 1997, p. 10.

acontecimientos, mientras que corremos un riesgo irrazonable al jugar un juego de azar.

Durante todo el proceso de la revolución industrial, la ingeniería fue acrecentando su capacidad de dominar la naturaleza, en particular el *¿control?* de cada vez mayores fuentes de energía y la conversión entre los diversos tipos de energía. El desarrollo de la cultura de un grupo es proporcional a la cantidad de energía que la tecnología disponible le permite aprovechar o controlar. Conocemos que toda concentración de energía (mecánica, térmica, química, eléctrica, nuclear, etc.) susceptible de ser liberada constituye un peligro.

Los riesgos en el campo de la informática y de la genética aún requieren que se realicen grandes esfuerzos para comprenderlos y controlarlos.

Los nuevos ingenios manufacturados en muchos casos crearon nuevos riesgos. Minimizar estos riesgos motivó nuevos desarrollos tecnológicos, que en general resultaron capaces de controlarlos. Por ejemplo, cuando en 1910 la cantidad de explosiones de calderas en Estados Unidos alcanzó la alarmante cifra de 1.400 al año, los ingenieros estadounidenses establecieron normas de seguridad que minimizaron drásticamente el problema. *American Society of Mechanical Engineers*, ASME, elaboró por primera vez en 1914 el *Boiler and Pressure Vessel Code* (BPVC). Actualmente es empleado para el diseño, construcción, inspección, y ensayos de recipientes a presión, que incluyen desde calderas domiciliarias hasta reactores nucleares. El Código ASME es la resultante de esos logros y fracasos. Adoptado por Estados Unidos y muchos otros países, el Código adquirió el carácter de American National Standard, y desde 1972 constituye un International Standard, en virtud de los programas internacionales de acreditación.

Los ingenieros tenemos deberes y obligaciones morales que cumplir. Desde muy antiguo se consideran los daños a terceros. Hoy el gran avance de la estandarización permite diseños más seguros. Sin embargo los códigos y normas son un reflejo de un acuerdo entre partes (productores, usuarios, técnicos). Constituyen un mínimo que se debe cumplir, aunque el “estado del arte” está por encima del conocimiento reglamentado.

Durante un juicio¹⁰ multimillonario por fallas durante la construcción de una plataforma petrolera *off-shore* para el Mar del Norte, el juez inglés fallo en contra de los diseñadores a pesar de que

¹⁰ Tad Boniszewski, The Welding Institute, Comunicación Privada.

éstos habían cumplido exactamente con todos los requerimientos de los códigos y normas contractuales (British Standard), se argumentó que el ingeniero debe conocer y cumplir con el “estado del arte”, y era conocido entre los expertos de la época que algunos mecanismos de falla aún no estaban suficientemente considerados en las normas británicas aplicables, pero sí en normas empleadas en otros países (Japón).

3. Riesgos y miedo

Los riesgos y las catástrofes generalmente se asocian con el miedo. De acuerdo con Kolar¹¹, en *Human-Intelligence-Based Manufacturing*, desarrollamos nuestra cultura como forma de controlar las ansiedades existenciales propias de la condición humana, tales como el miedo, la muerte, el sentido de la vida, la esperanza, la soledad, la libertad, incluido el dominio de la peligrosa inclinación agresiva de los individuos.

Diariamente nos informamos de la muerte de terceras personas desconocidas que no nos resulta angustiante, son solo un dato estadístico, sin embargo la muerte en primera persona, “yo” o segunda persona, “tu”, es la que nos infunde la más profunda angustia por su irreversibilidad. El miedo se puede resumir como miedo a la muerte.

Recientemente, Zygmunt Bauman¹² puntualizó que “*El miedo original, miedo a la muerte, es un temor innato y endémico que todos los seres humanos compartimos con los animales, debido al instinto de supervivencia programado en el transcurso de la evolución... pero los seres humanos conocemos la inexorabilidad de la muerte y nos enfrentamos a la imponente tarea de sobrevivir a la adquisición de tal conciencia*”. Teniendo conciencia de su próximo fin, Leonardo Da Vinci, “*ante la certidumbre de la muerte y la incertidumbre de su hora*”¹³ escribió su testamento.

Diversas estrategias permiten sobrellevar el terror a la muerte aunque sigamos temiéndola. Éstas van desde las más primitivas, como la huida o agresión, hasta las más elaboradas como la creencia

¹¹ M. J. Kolar, “Culture and Success in Manufacturing”, *Human-Intelligence-Based Manufacturing*, London, Ed. Yoshimi Ito, Springer-Verlag, 1993, p. 171.

¹² Zygmunt Bauman, *Miedo líquido. La sociedad contemporánea y sus temores*, Paidós Ibérica, 2007, p. 46.

¹³ Leonardo Da Vinci, *Testamento*.

en la inmortalidad. En el siglo IV a.C. Epicuro¹⁴ escribía en su Carta a Meneceo: “Así, el más terrorífico de los males, la muerte, no es nada en relación a nosotros, porque, cuando nosotros somos, la muerte no está presente, y cuando la muerte está presente, nosotros no somos más”.

En la sociedad descreída actual, sociedad del *descartable*, o sociedad *líquida*, se devalúa todo aquello que tenga probabilidad de sobrevivir a la vida individual. En palabras de Bauman la *banalización de la muerte*, hacer que la muerte no sobresalga de lo ordinario y común.

Para dar una efectiva respuesta a los desafíos del medio circundante, la ingeniería como emergente de la cultura, debe configurarse considerando los miedos, las incertidumbres y las tendencias destructivas de la cultura que la emplea.

4. Incertidumbre y probabilidad

Durante la evolución de la modernidad los paradigmas científicos fueron cambiando. Aunque una cuestión tan fundamental y básica como es la naturaleza del tiempo, está aun lejos de tener una respuesta científica¹⁵ definitiva, algunos de nosotros, aceptamos la asimetría temporal como sustancial, la flecha del tiempo como intrínseca a la naturaleza y de carácter absoluto. El tiempo como degradación, el tiempo constructivo, la irreversibilidad y las incertidumbres.

En el siglo IV a.C. , Epicuro¹⁶ escribió: “*En cuanto al destino, que algunos ven como el amo de todo, el sabio se mofa. En efecto, más vale aceptar el mito de los dioses que someterse al destino de los físicos. Porque el mito deja la esperanza de reconciliarnos con los dioses mediante los honores que les tributamos, en tanto el destino posee un carácter de necesidad inexorable*”. Consideraba la incidencia de tres causas en el ocurrir de las cosas de la realidad: la necesidad, el azar y la libertad. La necesidad entendida como impulso irresistible que hace que las causas obren infaliblemente en cierto sentido, el azar

¹⁴ Pablo Oyarzúm R., *Epicuro: Carta a Meneceo*, Chile, Instituto de Filosofía de la P. U. Católica, ONOMAZEIN 4,1999, pp. 404-425.

¹⁵ Mario Castagnino y Juan José Sanguinetti, *Tiempo y Universo - Una visión filosófica y científica*, Buenos Aires, Editor Catálogos SRL, 2006.

¹⁶ Carta de Epicuro a Meneceo, citada por Ilya Prigogine, *El Dilema de Epicuro, El Fin de las Certidumbres*, Chile, Editorial Andrés Bello, 1996. p. 17.

como Diosa Fortuna, y la libertad responsable como fundamento del carácter ético de la vida que nace en virtud de nuestra decisión. Su predecesor, Demócrito, había afirmado que “*Todo lo que existe en el universo es fruto del azar y la necesidad*”. En 1970, el Premio Nobel de Fisiología y Medicina Jacques Monod presentó un ensayo sobre la filosofía natural de la biología moderna que tituló justamente *El azar y la necesidad*¹⁷.

Para Prigogine hay dos concepciones extremas, el determinismo y el azar, ambas conducen a la alienación. El determinismo nos lleva a un mundo estático regido por leyes predecibles, que no otorgan lugar alguno a la novedad, a la creatividad, a la libertad humana, un mundo “autómata” con certidumbres. Mientras que el otro extremo, estar sometido solamente al azar también conduce a un mundo absurdo, acausal, un mundo arbitrario donde nada puede ser descrito en términos generales.

Entre ambos mundos existe un estrecho camino, un mundo de fluctuaciones, bifurcaciones, e inestabilidades, que incluye el papel constructivo del tiempo en procesos altamente organizados, irreversibles, de no equilibrio, donde hay lugar para la creatividad humana. Siguiendo a Prigogine¹⁸, no nos situamos en procesos puramente deterministas ni en procesos puramente aleatorios. Para los sistemas dinámicos estables es correcto hacer modelos deterministas, si hay inestabilidades los modelos deben basarse en la teoría probabilística. Los sistemas alejados del equilibrio, pueden tener un comportamiento impredecible después de cierto tiempo, resultando muy sensibles a las condiciones del mundo exterior, pequeños cambios provocan grandes efectos. Estos sistemas caóticos siguen leyes deterministas que conducen curiosamente a comportamientos de aspecto aleatorio. Cuando se presentan fuertes inestabilidades dinámicas, aun cuando conociésemos el estado del mundo con precisión infinita (el demonio de Laplace), no seríamos capaces de predecir el futuro.

Aceptamos que solo existe el presente, el pasado está grabado en el presente que contiene las semillas del futuro. El futuro está abierto, es objetivamente no-fijo. Solo el pasado está fijo. También aceptamos el libre albedrío que nos permite la creatividad, con la posibilidad de contribuir a construir el futuro y ser responsables de

¹⁷ Jacques Monod, *El azar y la necesidad*, Metatemas n° 6, Barcelona, Tusquets Editores, 1993.

¹⁸ Ilya Prigogine, *El nacimiento del tiempo*, Metatemas n° 23, Barcelona, Tusquets Editores, 1991.

nuestras acciones. Para Karl Popper “*el indeterminismo y el libre albedrío han pasado a ser parte de las ciencias físicas y biológicas*”¹⁹.

En los sistemas hombre-maquina, si la retroalimentación pasa a través nuestro, podemos dar marcha atrás antes de que sea demasiado tarde, evitando así una catástrofe. Al respecto, Norbert Wiener, padre de la Cibernética, ciencia que estudia las analogías entre los sistemas de control y comunicación de los seres vivos y los de las máquinas, y en particular, el de las aplicaciones de los mecanismos de regulación biológica a la tecnología, dijo “*Odiaría pasear en la primera prueba de un automóvil regulado por dispositivos retroalimentadores fotoeléctricos, a menos que en alguna parte hubiese un manubrio por el cual yo pudiera tomar el control si me encontrase dirigiéndome a chocar contra un árbol*”²⁰.

Otro concepto fundamental para medir el riesgo es el concepto de probabilidades. “*El valor numérico de una probabilidad se define como el cociente entre el número de casos favorables y el de los casos igualmente posibles*” (Laplace). Para llegar hasta este concepto se necesitaron siglos de desarrollo científico. Las relaciones entre probabilidad y experiencia presentan dificultades ya que los enunciados probabilísticos son refractarios a toda demostración estricta de si son falsos.

¿Qué ocurre cuando los dados están cargados? En tales casos no podemos afirmar que las seis posibilidades de los dados sean posibilidades iguales, ni podemos hablar de probabilidades en sentido clásico. Popper introdujo una teoría *objetivista*: la *teoría de la probabilidad como propensión*. Esta teoría incluye las *posibilidades con peso*. Por ejemplo si un dado está cargado, existe una circunstancia física, *el campo de propensiones*, que ejerce su influencia en cada tirada en particular.

Las diversas teorías de la probabilidad pueden agruparse como objetivas y subjetivas. La interpretación objetiva considera que todo enunciado probabilístico-numérico enuncia algo acerca de la frecuencia relativa con que acontece un evento de cierto tipo, dentro de una sucesión de acontecimientos (interpretación frecuencial), ej. juego de dados. Dentro de la interpretación subjetiva, una variante trata la probabilidad como si fuese una medida de los sentimientos de certidumbre o incertidumbre, de creencia o de duda, que pueden surgir en nosotros ante ciertas conjeturas. Otra variante trata los enuncia-

¹⁹ Karl Popper, *Un mundo de propensiones*, Madrid, Ed. Tecnos, 1992.

²⁰ Norbert Wiener, *Dios y Golem S. A.*, México, Siglo Veintiuno Editores, 1998.

dos probabilísticos lógicamente (teoría lógico subjetiva de Keynes que define la probabilidad como “grado de creencia racional”, 1921). Más adelante mostraremos cómo la ingeniería actual emplea estos conceptos.

5. Los riesgos desde el punto de vista de la sociedad premoderna

El concepto de riesgo, asociado con la idea de porvenir sin certeza, es muy antiguo. Para decidir sobre lo incierto se emplearon estrategias basadas en la religión, en la superstición, en la solidaridad o en móviles económicos.

En muchas culturas existieron grupos de sacerdotes que actuaban como *consultores* para decisiones difíciles de tomar por lo inciertas (tiempo meteorológico, inundaciones, cosechas y el futuro del reino). Estos *consultores* interpretaban señales de los dioses, calificaban las diferentes alternativas y finalmente recomendaban la alternativa más beneficiosa.

Otra estrategia muy antigua es el seguro. Al principio, basado en un sentimiento de solidaridad, luego evolucionó hacia bases técnicas, económicas y jurídicas. En el área naval comenzaron empleando el contrato de Préstamos a la Gruesa que especificaba que el propietario del barco o armador tomaba a préstamo una suma igual al valor de la mercancía transportada. Si llegaba a puerto pagaba el capital más elevados intereses (15%), en caso de naufragio no pagaba nada. Las tasas de interés reflejaban la percepción de incertidumbre del prestamista y fueron una de las primeras formas de cuantificar y administrar el riesgo.

Después de un período en que la figura del seguro declinó, reapareció en Europa en la Edad Media. En el siglo XIII, el pago de los intereses fue sustituido por una prima, y el pago de la indemnización fue aplazado hasta cuando el daño ocurriese, debido a un decreto papal que prohibía el pago de intereses.

El núcleo del mercado del seguro marítimo global comenzó en Londres en el Edward Lloyd's coffee alrededor de 1688. Por otra parte, como consecuencia del incendio de Londres de 1666, en este caso una catástrofe manufacturada, comenzaron también los seguros de incendio. Las bases científicas de los seguros se deben a Pascal, Fermat, Halley Bayes, Bernouilli entre otros. Es interesante que, en 400 años de historia uno de los períodos más traumáticos del Lloyd's

resultó ser, a fines de 1980, como consecuencia de haber ocultado a sus clientes conocimientos disponible sobre riesgos *manufacturados* (asbesto y contaminación).

6. Los riesgos desde el punto de vista de la ingeniería

a. *El proceso de análisis de riesgo en ingeniería.* *Probabilidades objetivas y subjetivas. Percepción*

Para minimizar o evitar las consecuencias catastróficas asociadas con accidentes “fabricados”, la ingeniería dispone de técnicas para la toma de decisiones capaces de minimizar las pérdidas. El empleo de iniciativas basadas en riesgo ha sido incorporado a la ingeniería como herramienta para medir y evaluar los riesgos, hacer un ranking de criticidad de las instalaciones o componentes, decidir acciones de mitigación, aceptación y comunicación de los riesgos. En suma gestionar los riesgos. La idea es decidir e implementar acciones preventivas antes que ocurra un accidente con consecuencias catastróficas.

El primer paso del análisis es responder **¿Qué puede salir mal?** La respuesta lleva a definir diversos *escenarios de riesgo*. Algunas de las técnicas empleadas se basan en equipos de expertos, para que opinen en forma planificada, y en el análisis de los antecedentes técnicos disponibles. Estas técnicas simples intentan ser *sentido común sistematizado*. Un problema, solo parcialmente resuelto, reside en la consideración de los escenarios *impensables o improbables*, es decir aquellos aspectos que, por desconocimiento o por que nunca fueron observados, quedan fuera del análisis, *¿el cisne negro?*

Cuando la instalación o artefacto tiene un carácter único, en cuanto a que no hay antecedentes de haber sido construido anteriormente, la simulación computacional cobra una gran importancia, pero introduce incertidumbres, en algunos casos insalvables, por la falta de datos o historial de fallas genéricos. Tal como es el caso de las actualmente llamadas “megaconstrucciones”.

El estado del arte de la ingeniería se basa en el método de *prueba y error*, iluminado por el método científico. Siempre que hay un nuevo desarrollo tecnológico, hay riesgos. El riesgo cero no existe. Cuando más experiencia histórica esté disponible, mayor será la capacidad de la ingeniería para minimizar los riesgos. Cuando se materializa un nuevo proyecto, para el que no hay antecedentes, los riesgos inicialmente serán altos, a medida que se aumente el conocimiento el riesgo

disminuye (mayor experiencia, resultados de ensayos en operación, accidentes, etc.).

Las categorías generales de riesgos que generalmente se evalúan son: Financieros, Operacionales (interrupción del negocio, propiedad, desastres naturales), Seguridad (salud ocupacional, público, ambiente), Tecnológicos (obsolescencia), Recursos humanos (dependencia de personas claves, propiedad intelectual), y Reputación (imagen pública, fraude, peligro moral).

Para cada escenario de riesgo definido, se deben contestar dos preguntas: **¿Cuál es su frecuencia o probabilidad de ocurrencia?** y **¿Cuáles son sus consecuencias si se materializa el accidente?** Con las respuestas podemos calcular el *riesgo* de cada escenario, como el producto entre la *probabilidad* y las *consecuencias*. Las consecuencias pueden medirse en términos económicos, de pérdidas de vidas humanas, área dañada, etc. La ingeniería dispone de métodos bien definidos y las herramientas matemáticas suficientes para calcular estas pérdidas con un buen grado de aproximación. Los modelos computacionales para calcular las consecuencias han evolucionado notablemente en los últimos años.

La determinación de las probabilidades es un tema complejo. La probabilidad de que un artefacto falle, es decir, que deje de cumplir con las funciones para las cuales fue diseñando, depende de numerosos factores. Primariamente, la probabilidad depende de los atributos conferidos por el diseño y fabricación, y de las solicitaciones a las que está sometido durante su ciclo de vida. Con el transcurso del tiempo se puede producir un deterioro normal o acelerado. Por ejemplo, durante el diseño de una de las primeras plataformas petroleras *off-shore* del Mar del Norte, los ingenieros consideraron como *peor escenario* la “tormenta más grande del siglo”. Refirió uno de los diseñadores que el primer año de operación la estructura soportó, con serias dificultades, cinco “tormentas más grandes del siglo”.

Para predecir el comportamiento en el tiempo de un sistema debemos elaborar modelos probabilísticos. Como el futuro es abierto, para determinar cual es el futuro más probable, debemos perfeccionar nuestra *percepción del presente*. El presente, contiene las huellas del pasado, en forma de datos históricos y los gérmenes del futuro, en forma de mecanismos de comportamiento que siguen modelos físicos o leyes naturales conocidas. La única forma de conocer anticipadamente la trayectoria de los sucesos es determinar las tendencias físicas o propensiones empleando modelos físicos basados en una correcta percepción del presente.

Sin embargo, el tema es aún más complejo. Heisenberg²¹ decía que para conocer la trayectoria de un avión no es suficiente con extrapolar la trayectoria recta o curva que observamos, hay que preguntarle al piloto. Los artefactos creados por el hombre generalmente están dentro de una organización humana que los administra, por lo que el cálculo de probabilidad debe también tener en cuenta el factor humano y los aspectos del sistema de gestión.

Existen diversas técnicas para *medir* riesgos a través de determinar la probabilidad de ocurrencia y sus consecuencias. Es una buena práctica emplear varias técnicas para asegurar un resultado más realista. En forma simplificada algunos de los análisis empleados para estimar riesgos son:

- Análisis histórico: se calculan frecuencia de ocurrencia y consecuencias a partir de evidencias del pasado. Emplea información estadística o genérica. Supone que el futuro se comportará como el pasado. *Riesgo = Probabilidad histórica × Consecuencias históricas.*
- Análisis cualitativo: se asumen subjetivamente cambios en las variables que podrían afectar la exposición al riesgo. Conocimiento experto (experiencia). *Riesgo = Probabilidad hipotética × Consecuencias hipotéticas.*
- Análisis de Monte Carlo: utiliza un proceso estocástico para estimar cambios en las variables que afectan el riesgo. *Riesgo = Probabilidad (histórica y asignación al azar) × Consecuencias (históricas y asignación al azar).*
- Análisis cuantitativo: considera las tendencias objetivas estadísticas y las propensiones que pueden afectar al sistema, en algunos casos incluye el juicio subjetivo de expertos y se emplean técnicas bayesianas para combinar las probabilidades. *Riesgo = Probabilidad (histórica, hipotética y propensiones) × Consecuencias (histórica, hipotética).*

La creencia extendida entre los ingenieros es que empleamos una comprensión racionalista del riesgo, considerándolo un fenómeno objetivo, y justificamos su determinación por medio de modelos estadístico-matemáticos como los mencionados precedentemente. Sin embargo, parte de la información empleada para los cálculos ingenieriles considera datos verificables y auditables, mientras que

²¹ Werner Heisenberg, *Diálogos sobre la Física Atómica*, Madrid, La Editorial Católica S.A., 1968, p. 256.

otros datos empleados son de baja calidad e introducen una incertidumbre adicional. Además de los datos producto de mediciones y ensayos, y de los datos históricos, que permiten calcular probabilidades o frecuencias “objetivas”, se emplean probabilidades “subjetivas” a partir de la opinión experta.

ASME²² emplea conjuntamente dos clases de probabilidades: probabilidades objetivas (*Frequency-related probability*) y probabilidades subjetivas (*Belief-related probability*).

Las probabilidades que se derivan de los datos históricos de fallas corresponden a *frecuencias objetivas*, por ejemplo para un conjunto de 1.000 tanques de almacenamiento de combustible, en los que se detectaron 7 pequeñas pérdidas por el fondo en un año, corresponden a una frecuencia anual de pérdidas de 7×10^{-3} . Sin embargo, aunque los datos sean precisos, es difícil contemplar en la práctica que algunos componentes fallados hayan sido reparados y retornados al servicio o reemplazados.

Las probabilidades *subjetivas* surgen de entrevistar en forma pautada a un experto acerca de cuándo puede ocurrir una falla. El conocimiento de los expertos, logrado tras largos años de estudio y experiencia, debe ser “extraído” empleando técnicas capaces de evitar su “contaminación” con las opiniones personales. Estas técnicas²³ elaboradas por psicólogos cognocitivos, tratan de lograr una opinión experta tan “objetiva” como sea posible, de manera de poder usar la probabilidad “subjetiva” calculada de esta forma junto con las probabilidades calculadas por otros métodos.

Las personas que trabajan día a día, durante años, en contacto con instalaciones industriales (máquinas, componentes, etc.), desarrollan una opinión, “*feeling*”, respecto del estado del componente y de su probable evolución en el tiempo. Esta opinión intuitiva, que surge de una integración subconsciente de la información proveniente del contacto frecuente con la instalación, es posible utilizarla para estimar su comportamiento futuro. El método de obtener la información “objetiva” es conocido como “*elicitation*”²⁴ y responde a reglas bien precisas.

Otro factor difícil de incorporar es la contribución a la probabilidad de falla del error humano. El cálculo de la probabilidad de falla por

²² CRTD - Vol. 41, *Risk-Based Methods For Equipment Life Cycle Management*, ASME International, páginas 8 y 9, 2003.

²³ CRTD - Vol. 41, *Risk-Based Methods for Equipment Life Cycle Management*, ASME International, 2003.

²⁴ Bilal M. Ayyub, *Elicitation of Expert Opinions for Uncertainty and Risks*, Boca Raton: C R C Press LLC Florence: Taylor & Francis Group [Distributor] , 2001.

error humano (HEP - Human Error Probability) fue particularmente desarrollada en el ámbito de la ingeniería nuclear^{25, 26}, pasando luego a la industria convencional²⁷. La aplicación correcta de esta metodología requiere del soporte de especialistas en confiabilidad humana que apoyen a los ingenieros. Otro aspecto que toma especial importancia en nuestros días es el terrorismo, para considerarlo se realizan análisis de vulnerabilidad.

Por lo tanto, para determinar la función probabilidad de ocurrencia del escenario analizado en función del tiempo, contamos con probabilidades objetivas y subjetivas. Como hay múltiples métodos de determinación de probabilidades que podemos estar aplicando simultáneamente para el mismo escenario, debemos disponer de una metodología que permita combinar los diversos resultados en un valor o función probabilidad única o más creíble.

El Teorema de Bayes, o la denominada transformación bayesiana, es la herramienta generalmente empleada para combinar las diversas probabilidades. El empleo de estas metodologías de cálculo merece una reflexión más profunda, ya que es cuestionable el empleo de probabilidades subjetivas “*a priori*” para ser mejoradas con los nuevos datos objetivos.

El *Teorema de Bayes* fue presentado como “*solución al problema de asegurar un fundamento para todos nuestros razonamientos referentes a los hechos pasados y lo que es probable que suceda en el futuro*” (Rev. Thomas Bayes (1701-1761), “*Essay towards solving a problem in the Doctrine of Chances*”, *Philosophical Transactions de la Royal Society*, Vol. 53, pp. 370-418, 1763)²⁸. El enfoque bayesiano parte de una distribución de probabilidades “*a priori*” en la que el analista tiene un cierto grado de confianza antes de obtener datos objetivos, luego mediciones objetivas de la realidad (ensayos) modifican el grado de convicción inicial.

Karl Popper²⁹ criticó el empleo del enfoque bayesiano por considerar las probabilidades subjetivas. Tal como ya hemos visto, Popper también propuso reemplazar la teoría de probabilidades clásica por

²⁵ NUREG/CR-1278, *Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications*, 1983.

²⁶ NUREG/CR-4772, *Accident Sequence Evaluation Program Human Reliability Analysis Procedure*, 1987.

²⁷ ASME PCC-3, *Inspection Planning Using Risk-Based Methods*, 2007.

²⁸ Jesús Santos del Cerro, *Historia de la probabilidad y la estadística (III)*, Madrid, Delta Publicaciones Universitarias, 2006, p.172.

²⁹ Karl Popper, *La lógica de la investigación científica*, Ed. Tecnos, Madrid, 1967.

una teoría objetiva de probabilidades “pesadas” que denominó *Teoría de la probabilidad como propensión*³⁰. Las propensiones o tendencias no son meras posibilidades, sino realidades físicas. Los actuales métodos de Inspección Basados en Riesgo siguen algunos de los lineamientos de la teoría de las propensiones, combinándolos con frecuencias de ocurrencias históricas. En general, no se encuentran en los textos de ingeniería cuestionamientos, en el sentido de Popper al empleo de las probabilidades subjetivas, siendo su empleo una tendencia creciente en el contexto de API y ASME.

Repitiendo el análisis de riesgos para cada escenario considerado, y sumando sus resultados, los ingenieros estamos en condiciones de “medir” un riesgo “técnico” para la instalación, que incorpora aspectos objetivos y subjetivos, y que también considera la incertidumbre de los datos empleados.

Como el principal objetivo es disponer de una metodología para la toma de decisiones referidas a los riesgos, la Teoría de la Decisión basada en la denominada Inferencia Bayesiana es una herramienta para proseguir el análisis. De acuerdo con este enfoque el que toma las decisiones elige una acción, dentro de un conjunto de todas las posibles acciones. Al tomar una acción se incurre en una pérdida. La comparación de diferentes funciones de decisión se basa en la función riesgo, o pérdida esperada. Una “buena” decisión es la que tiene menor riesgo.

Si la información es insuficiente o imprecisa se emplean los métodos de análisis de riesgo cualitativo, y el riesgo resultante es un riesgo relativo, solo válido para comparar con otros riesgos obtenidos del mismo modo. Cuando los datos son suficientes para un análisis cuantitativo, al riesgo así obtenido se lo considera riesgo absoluto.

Un aspecto que a los ingenieros nos cuesta comprender, es que este riesgo “técnico”, tan objetivo como nos ha sido posible calcularlo, no es el riesgo “real”, sino que es una medida de nuestra percepción del riesgo. Cuanta más información obtengamos (resultados de ensayos, observaciones, etc.), podremos modificar el riesgo percibido acercándonos al riesgo real que desconocemos.

Con los métodos que nos brinda la ingeniería actual podemos estimar un valor de riesgo técnico o experto, que es nuestro valor más “objetivo” posible. Este valor puede sobreestimar o subestimar el riesgo real desconocido, pero es posible afirmar que si somos legos en el tema, y estimamos los riesgos sin las herramientas que nos provee

³⁰ Karl Popper, *Un mundo de propensiones*, Ed. Tecnos, Madrid, 1992

la ingeniería, seguramente llegaremos a valores de riesgo con una mayor dispersión respecto del valor real. Lo que para un lego puede ser una lagartija, y para otro lego un dragón, resulta ser una iguana para un ingeniero que emplea los métodos descriptos.

Habiendo analizado los riesgos debemos compararlos con un valor de riesgo admisible para estar en condiciones de tomar decisiones. Un concepto muy empleado es el de Riesgo ALARP (As Low As Reasonably Practical). Considera que el riesgo solo puede ser minimizado a un cierto nivel bajo la tecnología actual y a un costo razonable. Los riesgos son “aceptables” solo si se han tomado todas las medidas prácticas razonables para reducirlos. Este nivel de riesgo está determinado por la ingeniería.

Sin embargo, el riesgo admisible ya no es solo un concepto técnico o experto, sino que es un concepto que involucra también la opinión de la sociedad. En el contexto del presente trabajo defino a este valor de riesgo obtenido fuera del ámbito de la ingeniería como riesgo social. Mientras los ingenieros diseñamos bajo el riesgo ALARP, la sociedad puede tener una percepción muy distinta del riesgo. El nivel socialmente admisible debe ser determinado tanto por la tecnología como por el nivel de alarma de la sociedad, la conciencia ecológica de la población. Es el nivel de riesgo que la sociedad confía que está controlado apropiadamente por los responsables de una instalación industrial, y que estos mantienen bajo revisión y lo reducen hasta el mínimo nivel compatible con la tecnología y recursos disponibles. El caso de la “pastera” de Gualeguaychú ilustra este serio problema que requiere de claras definiciones semánticas.

Para fijar ideas, una probabilidad de falla del orden de 2×10^{-6} accidentes aeronáuticos catastróficos por año (dos por cada millón de aterrizajes o despegues) es aceptado socialmente. Mientras que una probabilidad del orden de 10^{-1} , similar a la ruleta rusa, es socialmente inaceptable. La máxima tasa de fatalidad individual anual en trabajadores (datos UK) es 10^{-3} , mientras que para el público general es 10^{-4} . Un criterio empleado es que cuando se realiza una construcción, por ejemplo una represa hidroeléctrica, la probabilidad de muerte individual no debe incrementarse más allá de máximo aceptado (10^{-4}) ante la presencia de la obra. Esto significa que si aguas debajo de la represa hay 10.000 personas expuestas al peor escenario catastrófico, la probabilidad del peor accidente debe ser menor a 10^{-8} .

Los ingenieros (expertos) nos tenemos que preparar no solo para las habituales polémicas con el poder político de turno o con las autoridades jurisdiccionales, sino también a los crecientes cuestionamien-

tos de las ONG. Éstas no siempre disponen del adecuado nivel técnico, sin embargo representan los intereses de parte de la sociedad que debemos analizar y respetar actuando con responsabilidad. La percepción imprecisa del riesgo de los legos se debe tanto a que disponen de una información insuficiente, como en algunos casos a una formación cultural diferente. También puede responder a intereses ajenos a la tecnología, y a la manipulación de la información que reciben.

Para Beck, un mismo riesgo es percibido de distintas maneras según difiera la perspectiva de los diversos países y culturas. Cuanto más se reduce el mundo con la globalización, más se acentúan estas contradictorias percepciones culturales como certezas excluyentes. *“El crash of risk cultures, el choque de las diferentes perspectivas (percepciones) que las diversas culturas tienen de la realidad del riesgo es un problema fundamental de la política mundial del siglo XXI”*³¹.

Mi propuesta es que los ingenieros debemos ampliar nuestra visión al campo de la sociología y psicología para poder mejorar el empleo de las herramientas de confiabilidad humana, y además poder mejorar el diálogo con la sociedad con la que debemos compartir las decisiones sobre el riesgo, de manera de responder mejor a la pregunta de **¿cuál es un nivel de riesgo aceptable?**

Esto nos lleva al problema de **¿quién decide que un riesgo es aceptable?** Para esto entran otros actores, el poder político, el poder judicial, grandes intereses económicos, ONG. Empleando el poder de los medios masivos de comunicación, estos actores pueden influir y controlar a través del miedo a todo el conjunto de la sociedad y su percepción del riesgo. Por lo que el riesgo social es vulnerable a estas manipulaciones del poder.

Cuando aplicamos una técnica para evaluar riesgos, debemos configurarla para cada cultura diferente. Para algunas culturas el riesgo y la responsabilidad humana son relevantes mientras que para otras, con visiones más deterministas, el riesgo no existe.

Mi experiencia en el ámbito latinoamericano y europeo, muestra algunas dificultades que aparecen al aplicar técnicas que emplean un grupo experto de trabajo para obtener una respuesta que se espera resulte mejor que las respuestas individuales. Estas técnicas muy desarrolladas en Estados Unidos, surgen de una cultura de la manu-

³¹ Ulrich Beck, *La sociedad del riesgo mundial*, Ediciones Paidós Ibérica, 2008, p. 30.

factura que difiere mucho no solo de la cultura latinoamericana, sino también de la alemana o japonesa. En algunas culturas, las decisiones técnicas las toma el experto en forma individual, sin gran consenso, mientras que en otras la decisión surge del consenso.

Luego de definir los escenarios de riesgo, calcular sus probabilidades y consecuencias, y determinar los riesgos resultantes, estamos en condiciones de compararlos con el riesgo admisible y tomar la decisión de aceptar el escenario propuesto, definir acciones para minimizar el riesgo hasta que llegue a los valores admisibles o no aceptar el escenario. Finalmente, luego de implementadas las acciones de mitigación, siempre hay un riesgo remanente que debe ser aceptado por los responsables y comunicado a los actores involucrados.

b. La gestión del ciclo de vida de los activos físicos

Un Sistema de Gestión de Riesgos es una aproximación a la gestión de sistemas industriales, basada en la identificación y control de aquellos eventos peligrosos, que tienen el potencial de causar cambios no deseados con consecuencias catastróficas. Su implementación permite operar las plantas industriales con seguridad, confiabilidad, disponibilidad y rentabilidad. Una adecuada Gestión de Riesgos requiere considerar los siguientes aspectos previamente analizados: Identificar Peligros / Amenazas, Integrar la información relevante en una base de datos, Analizar y Evaluar Riesgos, Mitigar los Riesgos, Aceptar los Riesgos Remanentes, y Comunicar los Riesgos.

La Figura 1 presenta las estrategias empleadas para minimizar los riesgos vinculados con la integridad durante el ciclo de vida de los activos físicos. Se emplean iniciativas basadas en riesgo junto con iniciativas basadas en integridad estructural, también se consideran las restricciones impuestas por el factor económico y el factor humano³².

El diseño puede considerarse un proceso iterativo para concebir una idea con la intención de materializarla en un producto, que debe cumplir las funciones requeridas durante un período de tiempo previsto. Un buen diseño debe prevenir la ocurrencia de fallas durante el ciclo de vida del producto, satisfaciendo los requerimientos de seguridad, protección ambiental, y cumplimiento de las leyes y re-

³² M. Solari y P. Bilmes, "Component Design", capítulo del libro, *Failure Analysis of Heat-Treated Steel Components*, Ed. G. E. Totten, L. Canale, R. Agnelli Mesquita, USA, ASM, 2008.

ESTRATEGIAS PARA MINIMIZAR RIESGOS



Figura 1. Estrategias para minimizar riesgos durante el ciclo de vida de los activos físicos

gulaciones. Los análisis de riesgo permiten identificar y corregir los posibles escenarios de falla durante la etapa de diseño. Esta metodología de trabajo se denomina Diseño Basado en Riesgo³³.

El proceso de gestión de la integridad de activos físicos está descrito para la industria del petróleo y gas, según el tipo de activo físico: líneas de transporte de hidrocarburos líquidos³⁴, líneas de transporte de gases³⁵, equipos “estáticos” (recipientes sometidos a presión, tanques y cañerías)^{36, 37, 38}. Para activos físicos de plantas de producción de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles se emplean prescripciones según ASME^{39, 40}. Mientras que para la ges-

³³ M. Solari, “Risk Based Metallurgical Design”, capítulo del libro, *Handbook of Mechanical Alloy Design*, Ed. G. Totten, K. Funatani and L. Xie, USA, M. Dekker Inc., 2003.

³⁴ API Standard 1160, *Managing System Integrity for Hazardous Liquid Pipelines*, USA, 2001.

³⁵ ASME B 31.8 S, *Managing System Integrity Of Gas Pipelines*, USA, 2004.

³⁶ API 581, *Risk-Based Inspection*, American Petroleum Institute, 2000.

³⁷ API RP 581, *Risk-Based-Inspection Technology*, USA, 2008.

³⁸ API RP 580, *Risk-Based Inspection*, USA, 2002.

³⁹ CRTD - Vol. 41, *Risk-Based Methods for Equipment Life Cycle Management*, ASME International, 2003.

⁴⁰ Standard ASME PCC-3, *Inspection Planning Using Risk- Based Methods*, 2007.

tión de riesgos en la generación de energía hidroeléctrica se siguen los lineamientos de Bureau of Reclamation⁴¹.

En el área nuclear se emplea el análisis de riesgo probabilístico, denominados PRA, *Probabilistic Risk Assessment*, que evalúa los riesgos asociados con la operación y mantenimiento de las plantas nucleares en forma cualitativa y cuantitativa. ASME elaboró un Standard⁴² para soportar decisiones basadas en riesgo relacionadas con el diseño, licenciamiento, construcción, operación y mantenimiento de plantas comerciales de energía nuclear. Para el diseño generalmente se consideran como escenarios: i) Accidente base de diseño (*design basis accident*), y ii) Accidente que sobrepasa al de base de diseño (*beyond design basis accident*).

El Nuclear Regulators Working Group⁴³ y la IAEA⁴⁴ han considerado para asegurar la integridad estructural los desarrollos relativos al Leak-Before-Break (LBB). El concepto de Leak Before Break (LBB) acepta una pérdida detectable antes de que ocurra una rotura catastrófica. En Alemania se emplea el concepto de Break Preclusion (BP), basado en consideraciones de seguridad y redundancias independientes, que incluye asegurar el comportamiento LBB.

Generalmente se presentan los resultados de los análisis de riesgo en una matriz de riesgo Probabilidades vs. Consecuencias (\$). Se considera una Muy Alta probabilidad anual de ocurrencia de fallas a 10^{-1} y una Muy Baja 10^{-8} . Hasta ahora, las mayores catástrofes manufacturadas han tenido consecuencias superiores a 10^{10} u\$s, por ejemplo la pérdida de petróleo en las instalaciones de BP en el Golfo de México, 2010.

Para API RP 581, un buen sistema de gestión contribuye a disminuir la frecuencia de ocurrencia de fallas genérica en un orden de magnitud, por ejemplo pasar de una frecuencia de falla genérica para un determinado equipo de 10^{-5} a 10^{-6} , mientras que un mal sistema de gestión podría incrementa la frecuencia de falla en un orden de magnitud.

⁴¹ *Guidelines For Achieving Public Protection In Dam Safety Decisionmaking*, U.S. Department of The Interior, Denver, Colorado, USA, Bureau of Reclamation, 2003

⁴² *ASME Standard for Probabilistic Risk Assessment for Nuclear Power Plant Applications*, ASME RA-S-2002, AN American National Standard, 2002. Addenda ASME RA-Sa-2003, ASME RA-Sb-2005, ASME RA-Sc-2007.

⁴³ "European Safety Practices on The application of Leak Before Break (LBB) Concept", EUR 18549 EN, January 2000.

⁴⁴ "Applicability of the Leak-Before-Break Concept", IAEA-TECDOC-710, June 1993.

Los resultados de las inspecciones y ensayos se evalúan por medio de análisis de Aptitud para el Servicio. Empleando API RP 579-1/ASME FFS-1⁴⁵. De este modo es posible tomar la decisión respecto de si el equipo sigue en operación, cual es su vida remanente, así como tomar medidas de reparación o de reemplazo.

En la Figura 2 se muestra que para una nueva instalación los riesgos tecnológicos pueden reducirse parcialmente tanto en la etapa de diseño empleando diseño basado en riesgo, como durante la operación haciendo prevención y mitigación. Los riesgos deben ser menores que el riesgo ALARP. Los riesgos remanentes pueden ser parcialmente transferidos y financiados por medio de seguros. Finalmente los riesgos residuales deben ser aceptados y comunicados.

A partir de experiencias personales, en cuanto a tomar decisiones relativas a la seguridad de equipos potencialmente peligrosos de la industria petroquímica, puedo enfatizar que la ingeniería dispone de procedimientos robustos capaces de permitir tomar una decisión en forma racional y segura. Si embargo, debemos considerar, para anticiparnos a sus posibles efectos, dos situaciones vinculadas con la confiabilidad humana, que pueden inducir a errores catastróficos: a) El impacto de la tensión emocional para tomar decisiones tecnológicas comprometidas bajo presiones provenientes de diferentes actores. Bajo tensión, la probabilidad de error humano se incrementa considerablemente, tal como ha mostrado la NASA con el comportamiento de los astronautas, y b) Cuando la toma de decisiones críti-

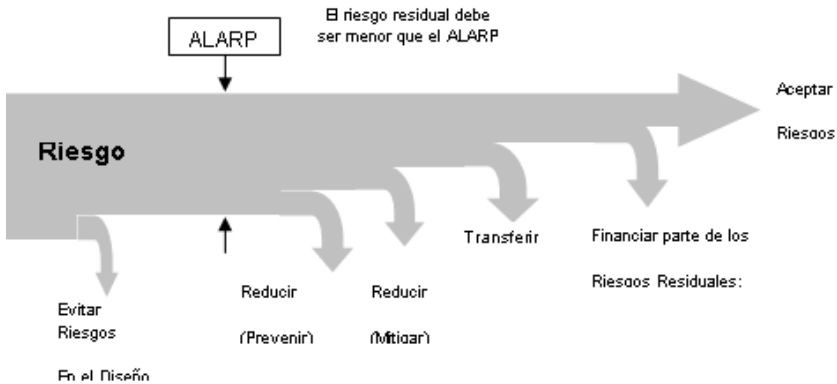


Figura 2. Riesgos tecnológicos

⁴⁵ API RP 579-1 / ASME FFS-1, *Fitness-For-Service*, Second Edition, 2007.

cas se hace rutinaria, se pierde la dimensión del peligro y pueden subestimarse los riesgos.

7. La sociedad del riesgo

A partir de la Reforma, la Ilustración y la Revolución Francesa se puso en marcha un formidable proceso de transformaciones socio-económicas denominado modernidad. En el siglo XVII se comenzó a eliminar en la ciencia el principio de autoridad y la superstición, promoviendo la investigación basada en datos experimentales. La imagen del mundo se desdobló en una vertiente racional y otra religiosa.

Hasta mediados del siglo XX el prestigio asociado a los logros de la ciencia y la tecnología fue tan grande que sus críticos no lograron cambiar la sensación que el progreso así como los recursos necesarios eran ilimitados. La capacidad de razonar generó la ilusión que el hombre podía resolver cualquier problema, en particular aquellos creados por los propios hombres. Poe⁴⁶ escribía en la primera mitad del siglo XIX: *“es dudoso realmente que el ingenio humano pudiese crear un enigma del cual el humano ingenio no llegase a una conclusión clara...”*.

Después de la Segunda Guerra Mundial, los planes de reconstrucción de Europa y un mercado insatisfecho motorizaron aún más el crecimiento. La confianza en la ciencia y la tecnología era compartida por todas las ideologías en el poder. La célebre carrera espacial entre Estados Unidos y la Unión Soviética así lo demuestra. Se creía que la ciencia y tecnología podrían dominar a la naturaleza, y tendríamos energía abundante y barata para el desarrollo.

En 1973, la crisis del petróleo mostró que los recursos eran limitados. El progreso generaba bienes y “males” como la contaminación del medio ambiente. Crecía la conciencia ecológica. Durante este período se desarrolló la energía nuclear para fines pacíficos, las telecomunicaciones, la conquista del espacio, la microelectrónica, las ciencias de la informática, la robótica, la biotecnología, y la nanotecnología. El desarrollo de los medios de comunicación social fue extremadamente veloz. La ingeniería se atomizó en múltiples especialidades, pero cada una incrementó notablemente su poder de modificar las circunstancias del hombre.

⁴⁶ Edgar Allan Poe, “El escarabajo de oro”, *Historias Extraordinarias*, Sevilla, Editor E. Perié, 1871, p. 129.

La modernidad generó un amplio espectro de críticos que van desde los que proponen profundizar la modernidad, más modernidad, considerando que el proyecto aún está inacabado, hasta los que se enrolan en la antimodernidad. Las diversas perspectivas incluyen humanismo, posmodernismo, realismo, constructivismo, ecología humana, sociología del medio ambiente, modernización ecológica, teoría social verde, modernización reflexiva, y teoría de la elección racional.

La sociedad de vínculos sólidos cambió a la posmoderna sociedad de vínculos líquidos, sociedad consumista antes que productora. En la sociedad de consumidores se asocia la felicidad con un aumento permanente del volumen y la intensidad de los deseos. Según Bauman⁴⁷ *“la inestabilidad de los deseos, la insaciabilidad de las necesidades y la resultante tendencia al consumo instantáneo y a la instantánea eliminación de sus elementos (obsolescencia), está en perfecta sintonía con el nuevo entorno líquido en el que se inscriben hoy por hoy los objetivos de la vida”*.

Mientras que el hombre tuvo notables éxitos en su búsqueda de la verdad científica, y produjo conocimientos capaces de ejercer cierto dominio sobre la naturaleza, perdió la fe religiosa y los valores humanistas ligados a ella. *“¿Existe la posibilidad de emplear recursos materiales, nuestros inventos, y nuestras computadoras al servicio de los fines del hombre?”*⁴⁸. No hay desarrollo pleno ni un bien común sin el bien espiritual y moral de las personas.

Uno de los críticos de la modernidad, Ulrich Beck (Institut für Soziologie Ludwig Maximilians Universität, München), en 1986, publicó en Alemania probablemente la más conocida conceptualización contemporánea del riesgo, que fue traducida en 1998 como *La sociedad del riesgo: hacia una nueva modernidad*⁴⁹. Actualmente para Beck la “sociedad del riesgo” de los años 90 ha pasado a ser la *sociedad del riesgo mundial*⁵⁰.

Para Beck, en una primera fase de la modernidad (esencialmente el período que va desde los siglos XVII y XVIII, hasta principios del siglo XX), el cálculo del riesgo desarrolló formas y métodos para ha-

⁴⁷ Zygmunt Bauman, *Vida de consumo*, Buenos Aires, Fondo de Cultura Económica, 2007, pp. 49-50.

⁴⁸ Erich Fromm, *La revolución de la esperanza*, México, Fondo de Cultura Económica, 2007, p. 14.

⁴⁹ Ulrich Beck, *La sociedad del riesgo: hacia una nueva modernidad*, Barcelona, Paidós, 1998.

⁵⁰ Ulrich Beck, *La sociedad del riesgo mundial: en busca de la seguridad perdida*, Barcelona, Paidós, 2008.

cer predecible las incertidumbres, tal como hemos analizado precedentemente. En esta fase se desmitificaron los peligros motorizados por la manipulación y control de la naturaleza por imperativos del crecimiento económico.

En una segunda fase, en la sociedad industrial contemporánea la cuestión del riesgo comenzó a crecer en importancia por el incremento de los peligros “fabricados”, el incremento de la violencia urbana así como por su empleo como factor de poder. El desarrollo vertiginoso de las telecomunicaciones y de la informática, en particular la difusión de la Internet, sincronizó y aceleró el mundo globalizado. Permitiendo a algunos actores (gobiernos, grandes empresas, ONG) amplificar los riesgos, la inseguridad, y el miedo para utilizarlos como forma de ejercer el poder sobre los ciudadanos- telespectadores (ej. la Guerra del Golfo fue preventiva ante un riesgo a armas de destrucción masiva que resultó inexistente).

Beck muestra que el pasado pierde su poder para determinar el presente. El lugar es ocupado por el futuro, es decir, por algo inexistente, construido y ficticio. Un futuro amenazante que se convierte en el criterio para decidir las acciones presentes.

Beck llama trampa o paradoja del riesgo a las dos estrategias opuestas que generalmente se emplean: i) Desconocer o negar los riesgos, no hay mejor abono para los riesgos que el negarlos, ii) Profundizar en el conocimiento de los riesgos. Se perciben más riesgos, se abre las compuertas del miedo y todo se vuelve arriesgado, la alarma que provoca crea un ambiente de impotencia y parálisis.

La modernidad cambió la visión del mundo y el estudio de los fenómenos naturales: el dominio del método científico y el pensamiento racional, opuesto al pensamiento mágico-mítico y la visión premoderna, suponen la responsabilidad del hombre en la creación y el manejo de situaciones de riesgo. La antimodernidad promueve una negación de los principios e instituciones básicas de la modernidad.

Con un ejemplo vinculado con la creación científica y el poder mostraremos, en el siguiente ítem, como el retroceso en los principios básicos de la modernidad lleva a promover al héroe pagano, adorador de artefactos, con un pensamiento mágico-mítico.

8. El problema del creador y la criatura

Un problema central en la crítica al progreso es responder si la ciencia y la tecnología son capaces de controlar lo que crean. Este es

el problema de la relación entre creador y criatura. Norbert Wiener dijo que *“la máquina es la contrapartida moderna del Golem del rabino de Praga”*⁵¹. El Golem es una criatura artificial, construida con el esfuerzo de un místico, con la ayuda del nombre de Dios o de alguna de sus variantes. Criatura sin sabiduría imperfecta, inacabada. La Cábala describía el ritual místico-cabalístico para crear el Golem y también para destruirlo. Según la tradición golémica⁵², cuando el Golem se revela contra su creador éste debe destruirlo. En el mito del Golem de Praga, el Rabino Löw (siglo XVI) desactiva el Golem que había creado.

El presuntuoso deseo de dominar la naturaleza, subyace de hecho en la ciencia moderna. Conocer es poder, se repite desde Francis Bacon. La técnica atrae fuertemente al hombre, porque lo rescata de las limitaciones físicas, le amplía el horizonte, y también lo atrae por el poder. W. Pauli⁵³ se preguntaba *“si el poder occidental sobre la naturaleza, es o no es perverso”*. No siempre el hombre responde a esta atracción de la técnica con decisiones fruto de su responsabilidad moral.

Existe una tensión en el interior del ser humano entre *“el deseo, a veces enfermizo, de alcanzar el poder creador del Dios y el justificado temor a que las creaciones humanas, realizadas a menudo en contra del orden natural, se vuelvan contra el propio ser humano, contra su propio creador, hasta llegar a destruir la humanidad”*⁵⁴.

El mito del Golem nos recuerda la inmensidad de las consecuencias de nuestra racionalidad. La energía nuclear, la informática (la computadora) y la ingeniería genética son nuestros Golem. Según Wiener el Golem conecta el mundo mítico con el mundo de las ciencias. La primera computadora israelí desarrollada en la década del 50, fue denominada justamente Golem.

En el aprendiz de brujo⁵⁵, Goethe dice: *“No puedo librarme ahora de los espectros que invoqué”*. Goethe pudo haberse inspirado en

⁵¹ Norbert Wiener, *Dios y Golem* S. A., México, Siglo Veintiuno Editores, 1998.

⁵² Zdenk Neubauer, *La leyenda del Golem – el mito sobre la religión de la ciencia*, Golem. En la Religión, la Ciencia y el Arte, Publicación del Museo Judío de Praga, 2003,

⁵³ Wolfgang Pauli, *Escritos sobre Física y Filosofía*, España, Editorial Debate, S.A., 1996, p. 178.

⁵⁴ Vladimir Sadek, El Rabino Löw y la tradición del Golem, en “Golem. En la Religión, la Ciencia y el Arte”, Publicación del Museo Judío de Praga, 2003.

⁵⁵ Rosa Pedrero, UNED (Madrid), KOINOS LOGOS. Homenaje al profesor José García López. E. Calderón, A. Morales, M. Valverde (eds.), Murcia, 2006, pp. 747-755.

Luciano de Samosata y también en el Golem de Praga. El tema central del relato es el de un personaje que viendo a un mago hacer maravillas intenta en su ausencia hacer lo mismo con desastrosas consecuencias.

En el mito del Golem, el iniciado y creador sabe cómo destruir su criatura cuando se rebela, mientras que el Aprendiz de Brujo supo crear el artefacto pero no pudo desactivarlo. Aunque una instancia superior, el Mago sí puede controlar el artefacto creado por el aprendiz. En el Tibet existe una tradición similar, en la que la criatura también se subleva contra el creador, pero este es incapaz de controlarla, resultando sometido a la misma.

Cuando los hombres se hallan en situaciones que les es imposible adoptar alguna resolución racional, fluctúan entre el temor y la esperanza, vacilan en la incertidumbre. Baruch Spinoza⁵⁶, en 1670, afirmaba que “*el temor es la verdadera causa de la superstición*”. Agregando que “*no hay medio más eficaz que la superstición para gobernar a la muchedumbre*”.

Fromm⁵⁷ critica lo que él llama la *religión del industrialismo y de la era cibernética*, o también paganismo de la era industrial. Los héroes paganos buscaban poder, fama, tener, explotar, triunfar, conquistar, destruir, y aun robar. Wiener⁵⁸, denominó *adoradores de artificios* a los ingenieros, que para evitar la responsabilidad personal de una decisión peligrosa o desastrosa, colocan la responsabilidad en otra parte: en el azar, en los superiores humanos cuyas políticas no es posible desafiar o en un dispositivo mecánico que no es posible entender completamente pero cuya objetividad se da por supuesta.

La sociedad del riesgo, con su inseguridad, relativismo, falta de valores, pensamiento mágico-mítico, alienación, sumisión a las máquinas, antimodernidad, deshumanización, vínculos líquidos, *cultura del descartable*, y *falta de coraje para asumir responsabilidades*, oscila entre el temor y la banalización de la muerte, según decida el poder a través de los medios de comunicación masivos. Esta situación crea una gran desesperanza. Si aceptamos una civilización tecnicista que prescinde de los valores. Donde las certezas morales aparecen como frágiles y discutibles cuando son confrontadas con la certeza *¿indiscutible?* que se da en las materias técnicas. Si aceptamos el retorno al pensamiento mágico-mítico vinculado con la creación científica, habremos

⁵⁶ Baruch Spinoza, *Tratado teológico político*, Buenos Aires, Ed. Libertador, 2005.

⁵⁷ Erich Fromm, *¿Tener o ser?*, Argentina, Ed. 12ª, FCE, 2009.

⁵⁸ Norbert Wiener, *Dios y Golem S. A.*, México, Siglo Veintiuno Editores, 1998.

retrocedido a la pre-modernidad a pesar de nuestros logros tecnológicos. Resultando esclavos de la técnica en lugar de amos.

¿Somos científicos y tecnólogos racionales que consideramos al método científico como una de las vías posibles para ejercer un dominio responsable y limitado sobre nuestras circunstancias?, o ¿somos realmente los brujos del paganismo industrial o, peor, solamente los aprendices de brujo que no tenemos la receta para controlar y eventualmente destruir lo que ayudamos a crear?

A partir de las reflexiones precedentes, se puede concluir que las causas de la percepción generalizada respecto que la modernidad falló en controlar los riesgos que ha producido, pueden atribuirse primariamente al empleo perverso que hace el poder político y económico de los logros de la ciencia y la tecnología. El empleo de los medios masivos de comunicación para controlar por medio del miedo y la banalización del mal, está entre las irresponsabilidades con mayor poder destructivo. Esta orientación de la sociedad, también puede hacer que los científicos y tecnólogos, que fluctúan entre el poder, el temor y la esperanza, actúen equivocadamente obrando mal, en lugar de obrar en beneficio de la humanidad.

La ciencia y tecnología, y en particular la ingeniería, tienen poder para controlar sus creaciones o para colaborar en minimizar la vulnerabilidad humana ante los desastres y las violencias. Con más progreso o modernidad ese poder seguramente podrá aumentar. La producción de catástrofes manufacturadas no puede reducirse a un problema técnico. La sociedad tiene una creciente necesidad de ética para su correcto funcionamiento. Considerando la dimensión mundial que ha adquirido la cuestión social debemos tratar de ser parte de la solución y no parte del problema social. Un científico o tecnólogo no debe pensar exclusivamente en su tarea, tiene además la obligación de contribuir a la solución del problema social. Debe procurar una relación con la vida pública para ejercer influencia sobre el Estado⁵⁹ y otros factores de poder.

9. Conclusiones

Los críticos de la modernidad afirman que el progreso ha fallado en controlar los riesgos que ha producido. Aún aceptando algunos

⁵⁹ Werner Heisenberg, *Diálogos sobre la Física Atómica*, Madrid, La Editorial Católica S.A., 1968, p. 247.

aspectos de las críticas, propongo responderlas con más modernidad responsable y reflexiva. Se debe alentar el desarrollo científico-tecnológico libre y responsable, pero también se debe reflexionar sobre las bases mismas de la modernidad que no deben ser consideradas como un dogma.

Los problemas de la ingeniería lo son también de la sociedad. La ingeniería está en condiciones de responder a los cuestionamientos de su idoneidad tanto para medir los riesgos como para fijar niveles de riesgos aceptables. La ingeniería dispone de metodologías muy desarrolladas, que tienen raíces matemáticas y filosóficas profundas, capaces de analizar y evaluar los riesgos “técnicos”. Su empleo está bien establecido en los estándares industriales. Se aplican a la gestión de integridad de las instalaciones nucleares, de gas y petróleo, generación de energía hidroeléctrica y por combustibles fósiles. Las instalaciones mencionadas pueden ser operadas con seguridad y confiabilidad si se gestionan los riesgos según la normativa existente.

Para la percepción /medición de los riesgos la ingeniería emplea datos experimentales y conocimiento experto. Cuanta más información objetiva dispongamos, más precisa será nuestra percepción del riesgo. Del análisis realizado surge que algunos aspectos de estas metodologías, de carácter multidisciplinario, aún pueden ser optimizados. Otra metodología relevante es la toma de decisiones tecnológicas. El temor al peligro se contrarresta con la decisión que los hombres toman ante una situación determinada y previamente calculada.

La sociedad debe convivir con los riesgos residuales e incertidumbres, el riesgo cero es una utopía. Seguramente el riesgo de artefactos o instalaciones nuevas será inicialmente elevado, en particular aquellas sobre la que no se disponen antecedentes, luego el riesgo será disminuido por la ingeniería como ha sucedido hasta ahora. Mientras *el científico estudia lo que es, el ingeniero crea lo que nunca ha sido* (Theodore von Kármán). Por lo que de los tres caminos posibles: paralizarse en un mar de incertidumbres, frenar el progreso y retroceder hasta la premodernidad, o continuar avanzando con esta aventura del progreso, a los ingenieros solo nos queda “arriesgarnos” a avanzar con más ciencia, más creatividad, más tecnología, más “prueba y error”, mayor percepción de la realidad, y más ética.

El riesgo tiene una dimensión técnica y otra social que deben ser integradas. La percepción experta puede no coincidir con la percepción que tiene la sociedad de los mismos riesgos. La determinación de los riesgos admisibles debe ser compatibilizada entre la ingenie-

ría y el resto de la sociedad. La ingeniería debe incorporar algunos aspectos de las ciencias sociales para adecuarse a los desafíos que impone la sociedad del riesgo. Para esto debemos abrir nuestra mente para aceptar o discutir los enfoques de la sociología, filosofía, derecho y sicología respecto de la sociedad.

La ingeniería es incapaz de medir y controlar los riesgos que originan algunas de sus creaciones cuando claudica ante el poder político y cuando se aísla de la sociedad a la que pertenece. Para minimizar los riesgos de la sociedad es urgente lograr un control jurídico y ético del poder que decide sobre el empleo de la tecnología. Hay que evitar el desacople entre el progreso tecnológico y las obligaciones morales.

Los argumentos que hemos discutido justifican la necesidad de ampliar la visión de la ingeniería, tendiendo a que se transforme en una disciplina que podría denominarse socio-ingeniería, idea que constituye el objetivo primario de este trabajo.