

La ingeniería Predictiva y Preventiva, en el marco de los sistemas de Gestión-Prospectivas y Casos Estudiados.

Julio VIVAS HOHL^{*}, Raul Hernández, Gustavo Cairone, Marina Cornejo

GEMAT, Grupo de Estudio de Materiales, UTN Confluencia, Rotter s/n, Campamento 1 Plaza Huincul, Neuquén

Resumen

El objetivo de la presentación es mostrar el estado del arte en empresas, centros de investigación y Universidades, frente al nuevo paradigma que muestra una realidad cambiante, para desarrollar las actividades productivas disminuyendo el número de accidentes y en un ambiente de máxima conciencia, que promueva a la adecuación e inserción de nuevas tecnologías en las empresas del medio, dentro del marco de los sistemas de gestión.

Los accidentes ocurridos en la comarca petrolera, de la provincia de Neuquén durante 2001/2004, muestran la necesidad de mejorar la capacitación de los cuadros en las empresas del medio, tanto en las actividades de *dowm-stream* como las de *up-stream*. Sumado a esto se detecta la necesidad de mejorar los procedimientos de las áreas de mantenimiento y reparación, con el objeto de aumentar la eficiencia en esos sectores. En Argentina todavía no se cuenta con un WHMIS (*Workplace Hazardous Materials Information System*) homologado dentro de las empresas y mucho menos legislado, lo que afecta directamente a los sectores ambientales y de Seguridad e Higiene, de cada empresa vinculada a la producción, transporte y manipulación de productos de la industria con diverso grado de peligrosidad.

Históricamente se inicia con los sistemas de gestión de calidad en el año 1986, recién en 1996 se comienza con la implementación de la ISO 14000 (medio ambiente) y se implementa la OHSAS 18000 (BS 8800) de Seguridad e Higiene, que concreta la IRAM 3800 en 1998. La realidad muestra que si se trabaja con Seguridad e Higiene, es mas sencillo gestionar calidad y aspectos ambientales, en Alemania durante estos últimos 3 años, por intermedio de la *Carl Duisburg Gesellschaft* se están realizando cursos para Latinoamericanos, que involucran los 3 sistemas de gestión en forma articulada.

Dentro de los desarrollos del grupo GEMAT se puede destacar: la contribución del procedimiento predictivo para mástiles petroleros, así como la búsqueda de un procedimiento predictivo mas general para la inspección de recipientes a presión que no alteren los sistemas de protección a la corrosión y que permita seguir en operación, que se muestran sintéticamente, como casos estudiados. Una mayor contribución de las Universidades sería deseable, no solo en el área de capacitación, también en procedimientos mecánicos y de mantenimiento, así como desarrollos en preventiva y predictiva identificados previamente con la industria. La prospectiva es entonces un futuro predecible, que debe comprender que los sistemas de gestión actuales deben integrarse a la ingeniería preventiva y predictiva, bajo un marco de gestión de capital intelectual.

^{*} Draft Versión J. Vivas Hohl et al., Congreso de Seguridad y Salud Ocupacional en la Industria del Petroleo y gas.

Introducción

En los últimos 18 años se introdujeron en Argentina los sistemas de gestión de Calidad y medio ambiente, así como los de seguridad y Higiene (Fig. 1), mayoritariamente en empresas que pudieron absorber también el elevado costo relativo de estos, asimismo el objetivo fundamental parecía obtener el certificado para mostrarlo. Mientras el personal, parecía ajeno por completo al hecho que la empresa “contenia”: calidad y medio ambiente. El grado de concientización, en realidad es un proceso y en efecto, muchas de esas empresas por intermedio de capacitación y evolución en el tema han logrado resultados mas que aceptables.

En ese período de tiempo el escenario ha cambiado y la ingeniería sigue cambiando, con una asombrosa cinética, que en algunos países lleva a estudios y articulaciones de importancia. De donde se infiere, que el comportamiento frente a los sistemas de gestión también esta contextualizado regional y culturalmente, ya que en el país aparentemente solo ha sido accesible a la “clase alta” de empresas (en gral. Grandes empresas), que se retroalimentan a partir de esos sistemas de gestión, aumentando la diferencia con las mas relegadas en tecnología y conocimiento.

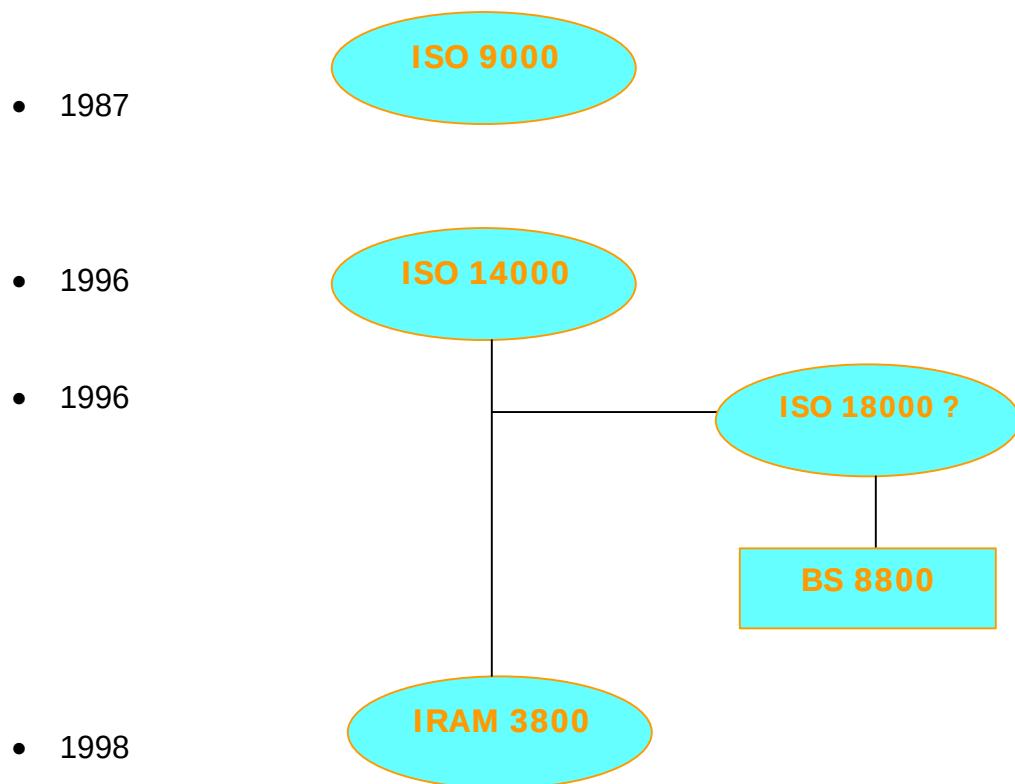


Figura 1: Evolución del Marco Normativo.

Así mismo, cada sistema de gestión tuvo una historia particular, ya que los puntos de vista y cambios producidos muestran una evolución distinta en cada caso. En la figura 2 podemos observar la evolución de la políticas ambientales.

Medio Ambiente

Una de las políticas ambientales, que ha aglutinado distintas opciones es precisamente la “Ecología Industrial”, que se puede definir como:

“La forma en la cual la humanidad puede deliberada y racionalmente **acercarse y mantenerse dentro de la capacidad de recursos brindada por la Tierra**, dada una continua evolución económica, cultural y tecnológica. Este concepto requiere que un sistema industrial no sea visualizado en forma aislada de los sistemas que lo rodean, sino en acuerdo con ellos. Constituye una **visión sistémica** que busca optimizar el **ciclo completo de los materiales**....los factores que deben ser optimizados incluyen recursos, energía y capital”.

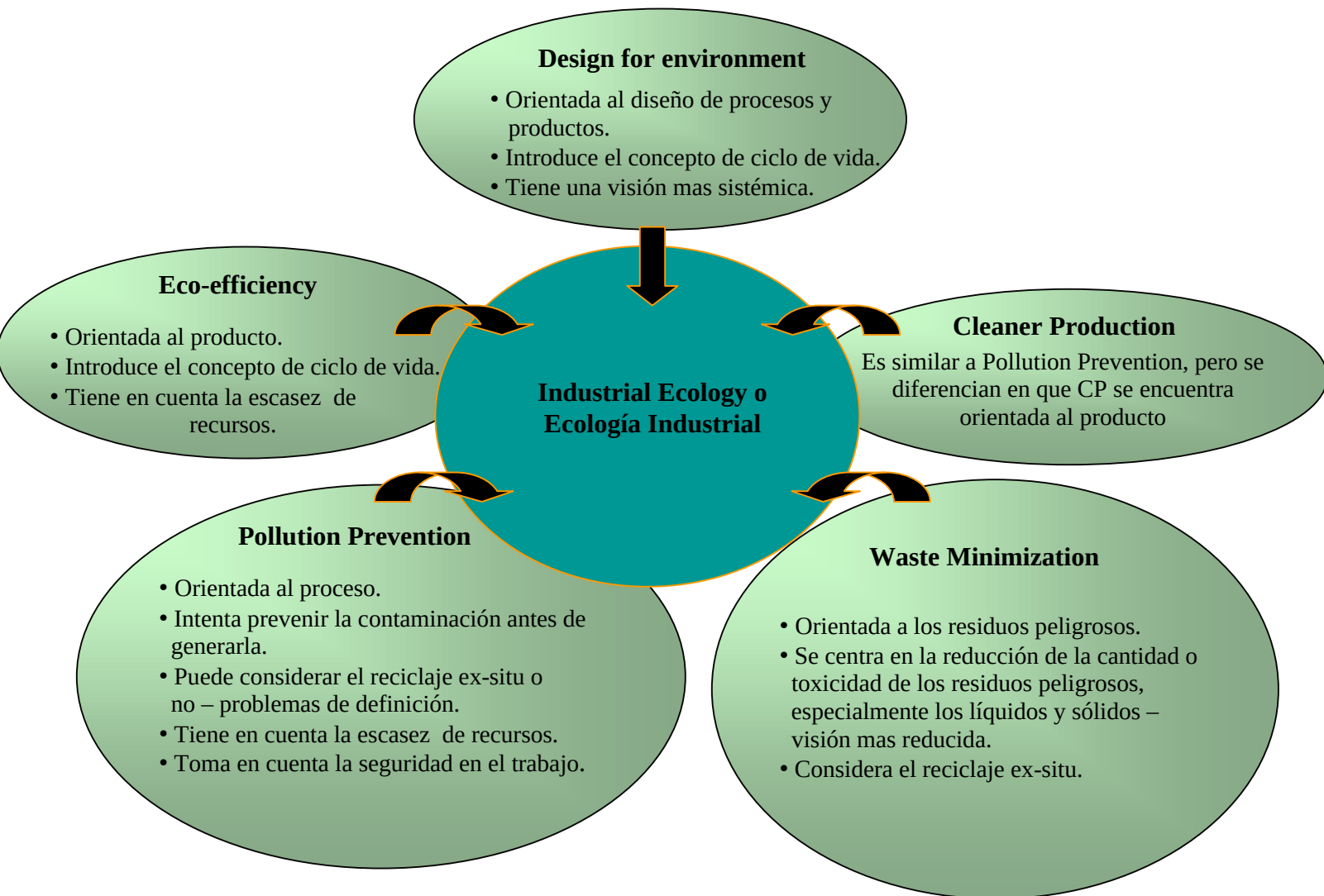


Figura 2: Estado de evolución de las políticas ambientales desarrolladas desde 1990.

A través de la Ecología industrial se persigue generar una analogía entre los ecosistemas naturales y los sistemas industriales. Esta analogía no es perfecta (Figura 3). Los sistemas industriales están conformados por seres humanos, los cuales poseen la capacidad de pensar, decidir y optar, lo cual puede tornar la situación mas simple o mas compleja.

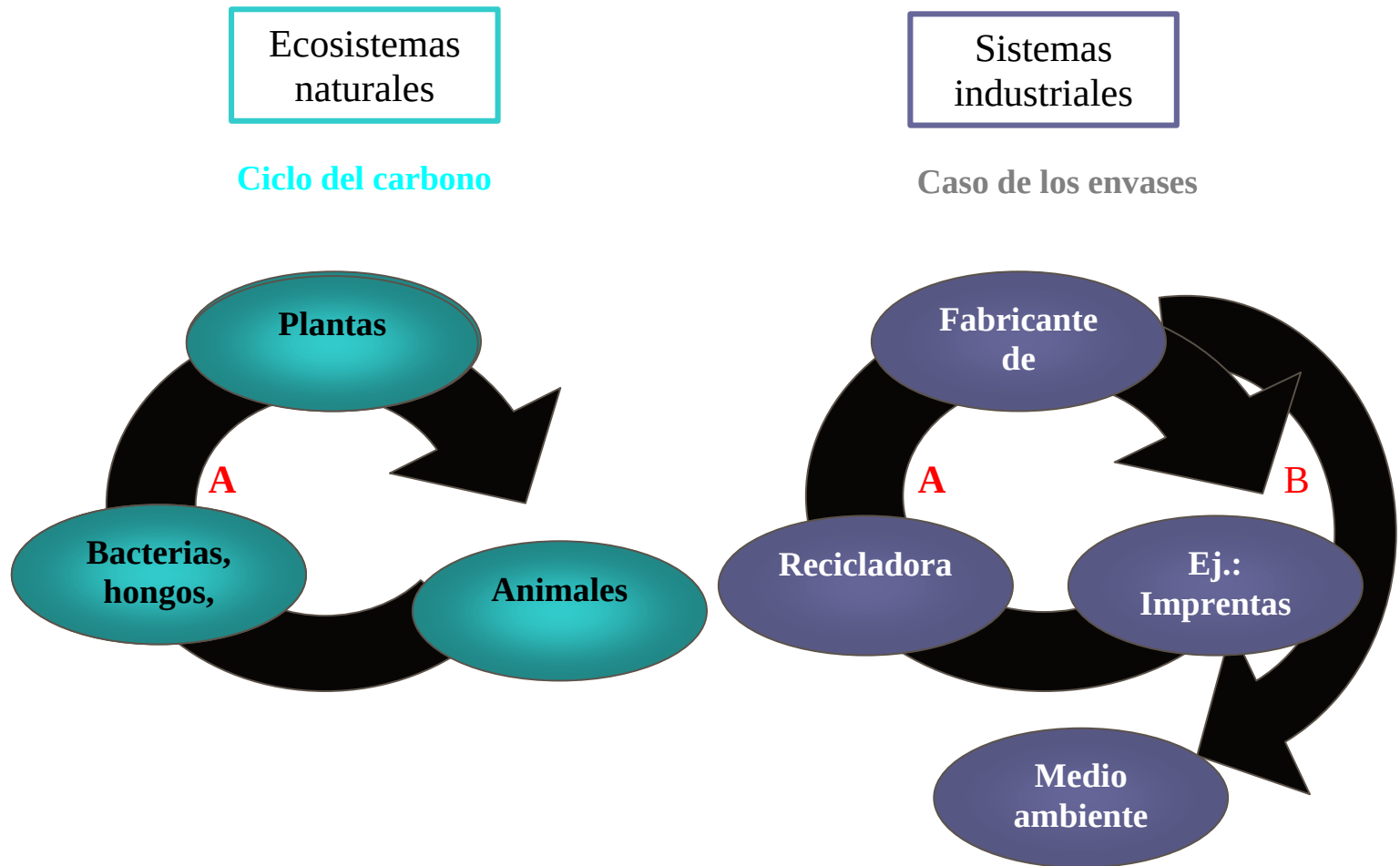


Figura 3: Analogía entre los ecosistemas naturales y los sistemas industriales, camino A. El camino B es la derivación polutante.

La divergencia que pudiera existir entre el modelo polutante o el natural no es lo relevante, sino la posibilidad de interpretar y adoptar ciertas características de un “modelo” que parece funcionar: De ésta manera es posible imitar aquellas características que le sean de utilidad a los sistemas antropogénicos y beneficiarse con ellas.

La necesidad de estudiar **el ciclo de los materiales** surge de la visión que soporta a la estrategia **“Ecología Industrial”**. Mientras actualmente, la tendencia es **la visión sistémica:**

- Se analiza al sistema industrial como parte de un todo.
- Se tiene en cuenta la interdependencia e interacción existente entre los distintos

participantes.

- Permite visualizar al problema a un nivel mas amplio y obtener soluciones globales.

Por ej.: Una batería, hoy en día, contiene un 33% menos de plomo que en 1974 y además su performance ha sido mejorada, pero en E.E.U.U. la producción de baterías se ha incrementado un 76% en el mismo período.

Tradicionalmente, predominaba una **visión reduccionista**:

- Se analiza al sistema industrial como si se encontrara aislado de su contexto.
- Devuelve al sistema industrial soluciones parciales, quedando el problema incompletamente resuelto. Ejemplo:



Figura 4: Industria tradicional, con efluentes al medio ambiente.

La importancia del estudio del **ciclo de vida de materiales** y productos, esta fundamentada por los siguientes puntos:

1. Porque según la Ley de conservación de masas, la materia no se crea ni se destruye, sino que se transforma y por lo tanto, es importante saber en qué se transforma o puede transformarse un material o producto a lo largo de su vida.
2. Porque permite visualizar los verdaderos problemas y soluciones.
3. Porque permite elegir una mejor opción al momento del diseño.
4. Porque permite elegir el mejor destino para los materiales o productos una vez alcanzado el momento de su disposición final.
5. Porque permite elegir un camino mas sustentable y rentable para los materiales o productos.

Es importante dentro de la visión actual entonces, plantear la vía para el **desarrollo sustentable**: “El desarrollo que permite alcanzar las necesidades del presente, sin

comprometer la habilidad de generaciones futuras para alcanzar sus propias necesidades”

Abarca mucho mas que las cuestiones ambientales, también incluye a temas como la pobreza, el crecimiento poblacional, las deudas de los países en vías de desarrollo, el desarrollo industrial, la desigualdad geográfica, entre otras.

Por estas razones se infiere que la Ecología Industrial permite alcanzar el desarrollo industrial porque:

1. Considera que no es posible prevenir todo tipo de contaminación y que el sistema industrial no puede evitar producir algún tipo de residuo, aunque su cantidad y toxicidad pueda ser minimizada – Reconoce la existencia del problema.
2. Propone cerrar el ciclo de los materiales o productos mediante el intercambio de residuos entre industrias - Propone una forma de solucionar el problema.
2. El intercambio puede realizarse en la mayoría de los casos, de forma rentable.
4. Dada su visión sistémica, es posible realizar una identificación verdadera de los problemas y hallar soluciones verdaderas.
5. Considera que todos los recursos, sean renovables, no-renovables, contaminantes o no, deben minimizarse en su extracción, producción y consumición.
6. Considera que por mas atractivas que resulten ciertas prácticas ambientales cuyos resultados se hacen visibles a corto plazo, no constituyen la mejor opción y reconoce la necesidad de implementar estrategias de mediano y largo plazo que resulten mas efectivas y sustentables.

Otro factor limitante para la aplicación de la Ecología Industrial es el sistema de **transporte:**

1. Suele ser costoso, en especial para los residuos peligrosos, 2. Muchas veces, las distancias a recorrer y por lo tanto el gasto de energía asociado, provoca mayor contaminación que la liberación del residuo al medio ambiente. 3. El costo y la viabilidad del transporte de residuos peligrosos en largas distancias depende de las leyes de cada región.

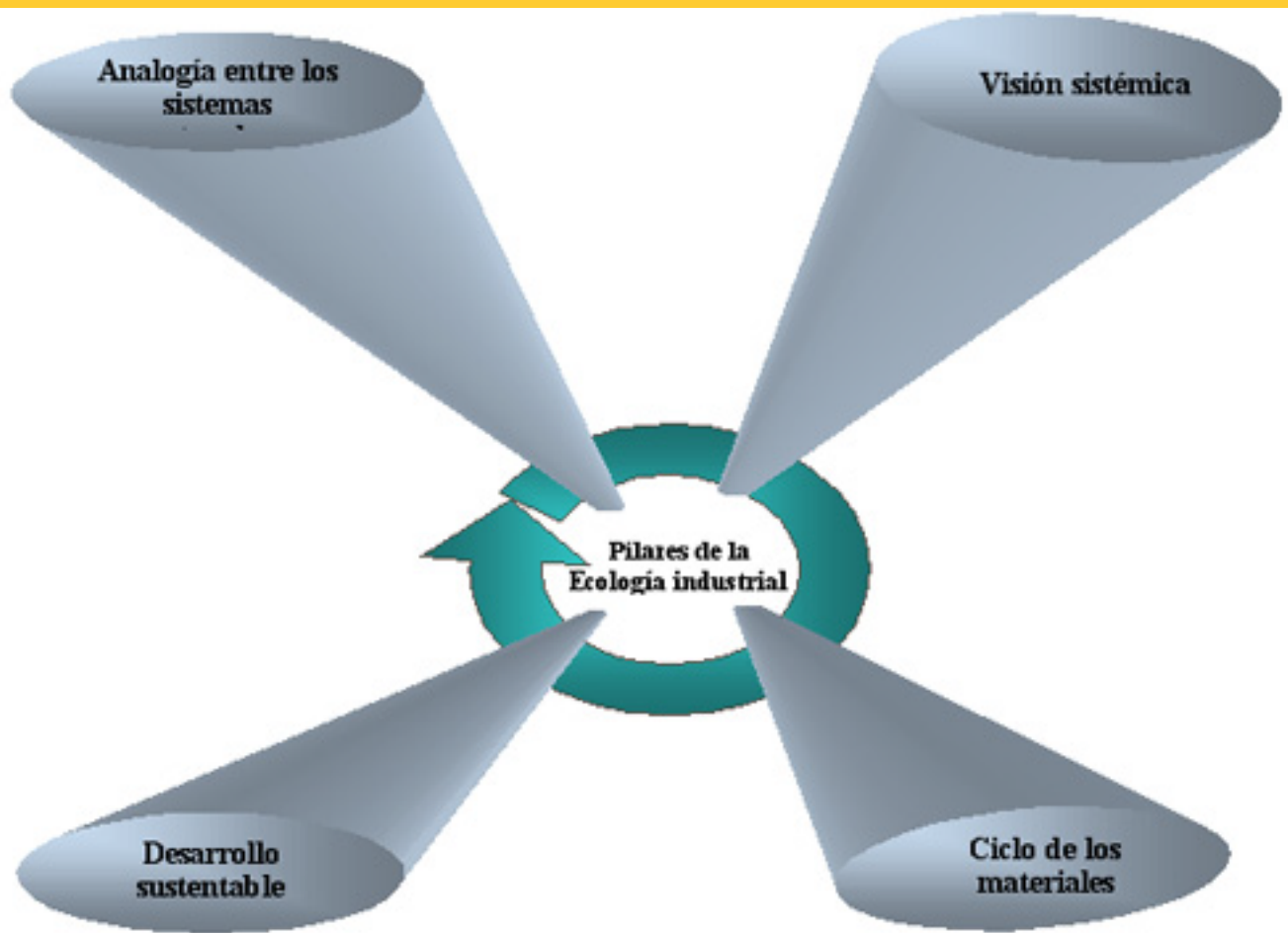


Figura 5: Estructuras en las que se basa la Ecología Industrial.

Seguridad e Higiene

En cuanto a Seguridad e Higiene la OHSAS 18001, todavía no ha derivado en la ISO 18001. La concreción de la IRAM 3800, presenta sin embargo un positivo desarrollo en el contexto Argentino

La relevancia de implementar un sistema de Salud y Seguridad ocupacional esta fundamentado en los siguientes puntos:

1. Ayuda a cumplir la legislación con facilidad
2. Reduce costos de Salud y Seguridad Ocupacional
3. Permite soportar la fuerte presión comercial
4. Incrementa la conciencia de inversores
5. Minimiza el RIESGO de empleados y otros
6. Mejora el RENDIMIENTO de los negocios

7. Ayuda a establecer una imagen responsable dentro del mercado

Las partes interesadas van desde los Empleados, pasando por los Contratistas, los Proveedores, las A.R.T, la Comunidad en general, Autoridades de distinta índole, Visitas, Clientes, Accionistas y Usuarios.

Un ejemplo práctico de estos sistemas de gestión lo provee la guía BS 8800, precursora en este tipo de sistemas, que plantea; “Un buen desempeño en salud y seguridad ocupacional es NO ACCIDENTE. Las organizaciones deben dar la misma importancia al logro de altos niveles en la gestión de S&SO como lo hacen con otros aspectos claves de sus actividades de negocios. Ello implica la adopción de un adecuado enfoque estructurado hacia la identificación, evaluación y control de los riesgos afines al trabajo.”

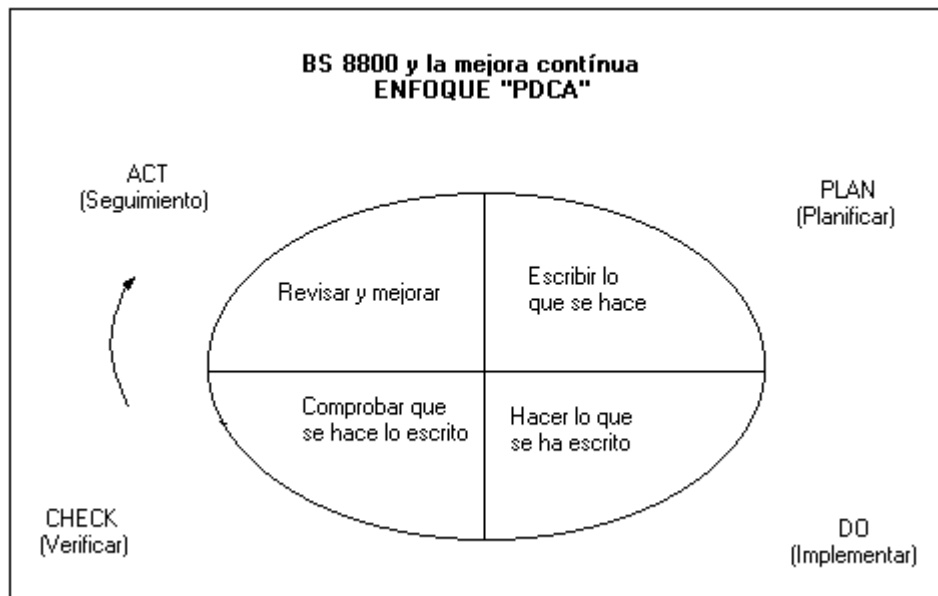


Figura 6: El planteo de la guía BS 8800, con mejora continua y estructura PDCA.

Justamente el planteo de la guía BS 8800 (Figuras 6 y 7) parte de la premisa de la capacitación de los cuadros, compartir responsabilidades y una planificación, que obliga a la programación y permite aparte de la ingeniería preventiva, incorporar la predictiva.

Sumado a esto, Esta guía permite integrar la gestión de salud y Seguridad en el trabajo dentro de un sistema de Gestión Global, que es la tendencia en estos últimos años (Figura 8).

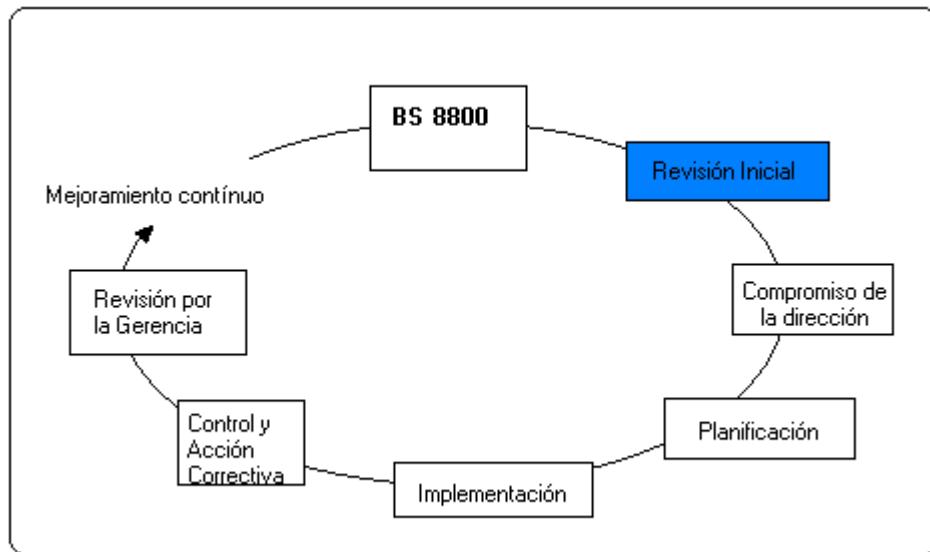


Figura 7: Ciclo de mejora continua planteado en la BS 8800.

Gestión Global de la Empresa			
Sistema Financiero-Contable	Sistema de la Calidad	Sistema del Medio Ambiente	Sistema de la Salud y Seguridad en el Trabajo
❖	❖	❖	❖
Dinero	Producto	Impactos Ambientales	Ámbito Laboral
↓	↓	↓	↓
Dirección/Accionistas	Clientes	Sociedad	Personas
---	ISO 9000	ISO 14000	BS 8800

Figura 8: Sistema de gestión Global de la empresa

La tabla de riesgos, si bien en una primera instancia, a partir de la BS 8800, es cualitativa Figura 9, a partir de estudios de los sistemas, inspecciones con tecnología de última generación y cálculo de vida remanente, permitiría cuantificar la situación en un marco temporal, con la posibilidad de programar las intervenciones.

	Poco dañino	Dañino	Extremadamente dañino
Altamente Improbable	RIESGO TRIVIAL	RIESGO TOLERABLE	RIESGO MODERADO
Improbable	RIESGO TOLERABLE	RIESGO MODERADO	RIESGO SUSTANCIAL
Probable	RIESGO MODERADO	RIESGO SUSTANCIAL	RIESGO INTOLERABLE

Figura 9: Tabla cualitativa para clasificar los riesgos de sistemas dentro de la industria.

En cada caso es necesario, sin embargo implementar un PLAN de ACCION de CONTROL de RIESGOS:

1. Si es posible, eliminar riesgos o combatirlos en la fuente;
2. Si no se puede eliminar, tratar de reducir el riesgo;
3. Donde sea posible, adaptar el trabajo al individuo;
4. Sacar ventaja de los avances tecnológicos para mejorar los controles;
5. Poner en práctica medidas que protejan a todos;
6. Mezclar controles técnicos y procesales;
7. Realizar mantenimiento preventivo;
8. Adoptar equipo de protección personal sólo como último recurso;
9. Contar con disposiciones de emergencia (plan de contingencia).

La BS 8800, no contempla la ingeniería predictiva todavía, pero en el punto 7 incluye el mantenimiento preventivo. Sumado a esto la BS 8800 plantea la necesidad de revisar el plan de acción, antes de la implementación, planteando:

- Conducirán los controles a niveles tolerables de riesgo?
- Se crean nuevos peligros?
- Se ha elegido la mejor solución costo-beneficio?
- Qué piensa el personal afectado en cuanto a la necesidad y practicidad de las medidas preventivas revisadas?

- Serán usados en la práctica los controles revisados realmente?

La evaluación de riesgo debe ser vista como un proceso continuo. De esta forma, la adecuación de las medidas de control deberá estar sujeta a revisiones continuas y ser repasada si es necesario.

De la misma manera, si las condiciones cambian al punto que los peligros y riesgos son afectados significativamente, entonces las evaluaciones de riesgo deberán, también, ser revisadas.

La empresa y un sistema integral de funcionamiento

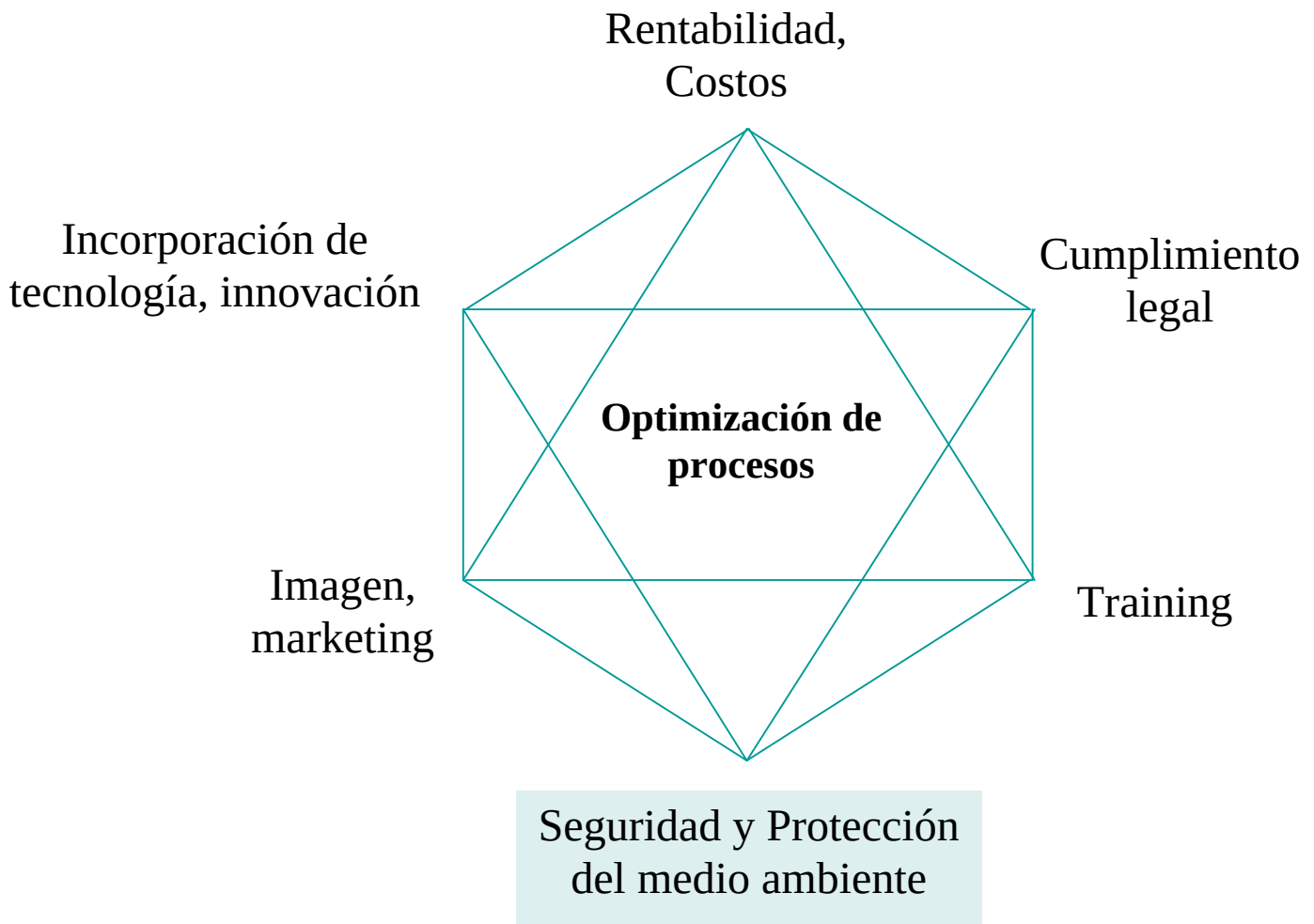


Figura 10: Esquema de funcionamiento integral de una empresa moderna e inteligente con sistemas de gestión y desarrollo de capital intelectual

Este esquema sería el deseable en cada empresa, donde el personal solo será considerado **humanware**, si esta realmente capacitado y posee experticidad, así como solvencia en su área de trabajo.

El nuevo paradigma en cuanto a las organizaciones inteligentes, deben pasar ahora, mas allá de la gestión de conocimiento a la gestión de CAPITAL INTELECTUAL.

Capital Intelectual

El capital intelectual se ha estado transformando en un recurso clave para la creación de riqueza económica. Activos tangibles tales como, propiedad, planta y equipo, y efectivo siguen siendo factores importantes para la producción de bienes y servicios, sin embargo existe un “valor” que aún las finanzas, la economía y la contabilidad no logra demostrar.

La paradoja es que existen activos clave que no estan siendo medidos, registrados y gestionados. De esto se infiere que el capital intelectual comprende mas elementos que el capital humano:

Para medir, registrar y gestionar el capital intelectual, primero tenemos que identificar y clasificar a sus componentes.

Su trascendental y creciente importancia como elemento generador de valor requiere de nuestra atención y esfuerzo.

“El capital intelectual es el termino dado a una combinación de activos intangibles que permiten que una compañía funcione” Brooking (1996, pag. 12)

“El Capital Intelectual es conocimiento útil empaquetado” Stewart, 1997

Como se mencionó, la gestión de conocimiento, es en el siglo XXI insuficiente y es por esta razón que se debe apuntar al capital intelectual. Esto se fundamenta en que el conocimiento, no por sí mismo, sino el conocimiento pro-activo como un activo capaz de producir innovación y por ende riqueza.

Por que se habla de gestionar el capital intelectual más que de gestionar el conocimiento? Principalmente por que la ventaja competitiva depende de los recursos internos de ambos, *personas capacitadas y organizaciones (humanware)*.

El humaware es visto por su conocimiento propio y valor creado; la memoria organizacional y la organización de aprendizaje. De esta forma estamos frente a una organización inteligente, que aprende.

Por lo tanto, el desarrollo de una organización con capital intelectual depende de la incorporación de conocimiento y como lo realiza: *El aprendizaje implica un proceso organizativo a través del cual el conocimiento de un individuo puede ser compartido, evaluado, e integrado con el de otros en la organización* " [1]

Es claro que la organización que aprende esta interesada en procesos de conocimiento. Muchas iniciativas para crear estas organizaciones comprenden pasos que podrían describirse como gestión del conocimiento:

Si se desea tener innovación es necesario:

1. Crear una cultura para crear y compartir el conocimiento
2. Usar tecnología de información para facilitar el aprendizaje
3. Dar acceso a la información, entre otros procesos

La importancia de medir y gestionar el capital intelectual, se fundamenta en:

1. 200 años después de Adam Smith, el mundo ha entrado en una era en que la comunidad de las naciones esta directamente atada a la creación, transformación y capitalización del conocimiento.
2. Las industrias basadas en el conocimiento, particularmente en los sectores de ciencia y tecnología, se están expandiendo mucho más rápido que el resto de las industrias.
3. Todos los elementos en la creación de la Cadena de Valor (recursos, procesos y productos) incluyen fenómenos invisibles. Localizar y hacer un mapa de estos intangibles es probablemente una importante pieza para cualquier compañía que aspire crear valor para sus accionistas, empleados y otros interesados.

Negar esta situación presenta un panorama desolador:

No solo se pueden producir errores en la colocación de capital en inversiones menos productivas, sino que la **no exteriorización del capital intelectual** reducirá el desarrollo de nuevos y mejores productos y procesos, impidiendo la difusión de innovaciones productivas y se reducirá el crecimiento de la productividad y la creación de empleo". Algo parecido a Argentina en los últimos 25 años [2].

Ingeniería Predictiva

Dentro de los desarrollos del grupo GEMAT orientados a aspectos predictivos y procedimientos novedosos se puede destacar: **1-** la contribución del procedimiento predictivo para mástiles petroleros [8], así como la búsqueda de un **2-** procedimiento predictivo mas general para la inspección de recipientes a presión que no alteren los sistemas de protección a la corrosión y que permita seguir en operación, también un estudio predictivo y retrospectivo de una catenaria de un gasoducto de 24" n suspensión sobre el Río Neuquén, que se muestran sintéticamente:

1- Procedimiento predictivo para mástiles petroleros

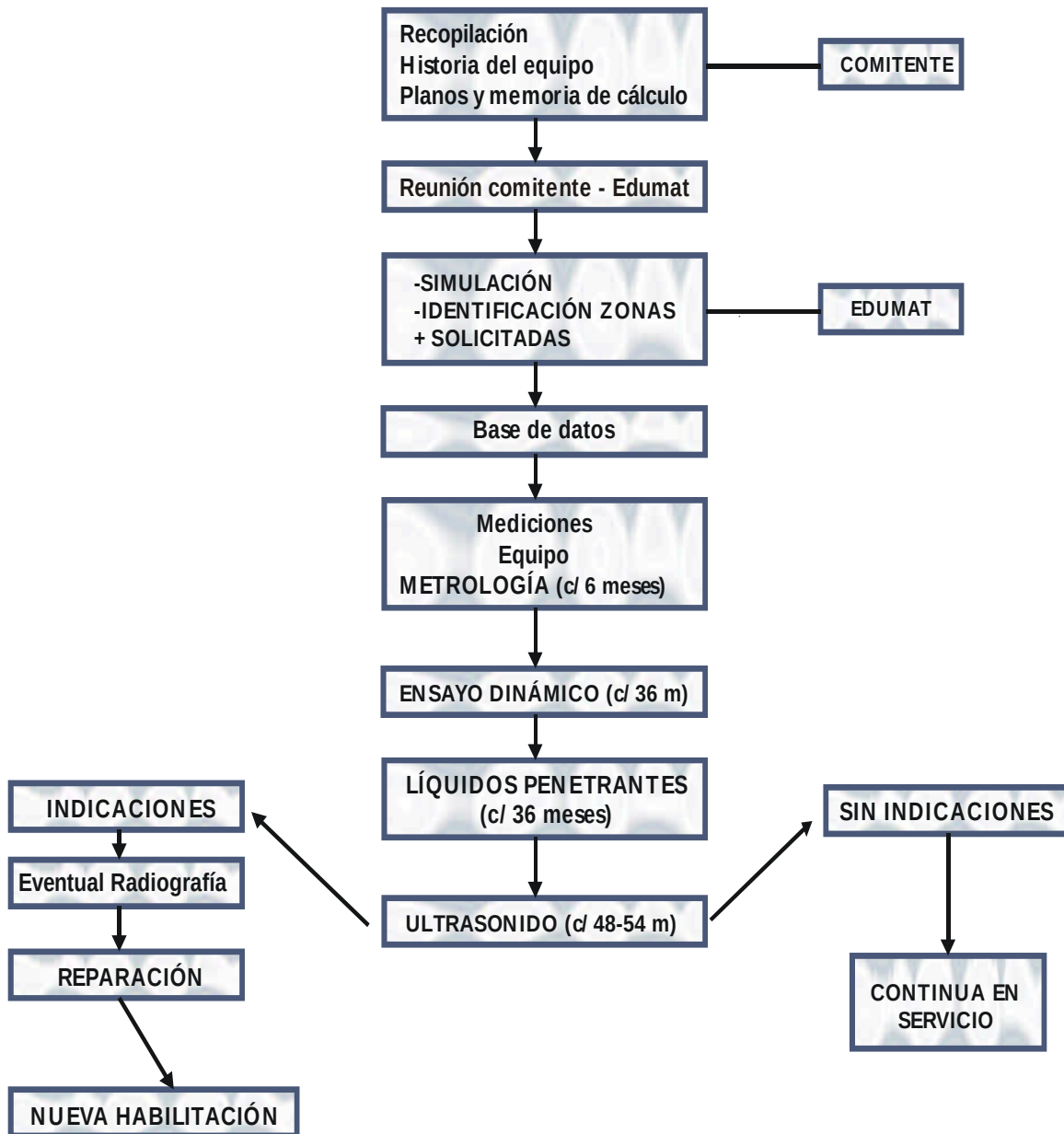


Figura 11: Metodología para la toma de datos, a los efectos de calcular los mástiles.

Haciendo uso de las herramientas tecnológicas con que se cuenta actualmente: *Software* avanzado, ensayos de última generación en caracterización de estructuras y materiales, sumado a una estrategia de capacitación, se intenta disminuir el Número de accidentes en esa área.

Un procedimiento actualizado de control de torres y mástiles estructurales y/o tubulares utilizados *in situ* en los procesos del campo de la industria petrolera debe considerar criterios modernos de análisis y monitoreo de materiales, en concordancia con los procedimientos API [3 y 4] y ASME [7].

Por esta razón, y considerando que estas estructuras trabajan en ambientes agresivos, es posible que luego de un período de utilización se encuentren desgastadas por fatiga o corrosión.

Estas estructuras ingenieriles cuentan con propiedades definidas que permiten ser caracterizadas y monitoreadas durante su período de vida útil y admiten ser reparadas de acuerdo a un programa de mantenimiento y control. Pudiéndose calcular su vida remanente, conociendo la frecuencia característica de esas estructuras.



Figura 12: Equipo IDECO luego de la ruptura, accidentes evitables.

2- Procedimiento Predictivo para recipientes a presión

Para estudiar el estado en el que se encuentra el ducto tricapa de 12" o de 24", así como otros recipientes a presión, fue necesario desarrollar una metodología y procedimiento que permita tomar información y caracterizar el ducto con el objeto de *a posteriori* realizar una base de datos que logre diagnosticar el estado actual del mismo y permita evaluar a futuro la integridad del ducto (Ingeniería predictiva), mediante el software adecuado y la realización de ensayos de espesores, ultrasonido, durezas, gammagraficos en 3D, líquidos penetrantes y metrológicos.

Dentro de las diferentes técnicas para el monitoreo de ductos en servicio, es recomendable utilizar aquellas que no entorpezcan las operaciones de transporte. Por ello y debido a los últimos desarrollos en esta área de Ensayos no destructivos sería factible combinar técnicas para obtener un diagnostico preciso del estado actual de los ductos y extrapolar información para realizar ingeniería predictiva y preventiva, adecuándose a los sistemas de gestión ISO 9001, ISO 14001 y OHSAS 18001 (BS 8800). Con estas condiciones es posible desarrollar **procedimientos a medida** de las necesidades de cada industria. Para ello se contempla el estado del arte y las normas nacionales e internacionales: 1) ASME, 2) API, 3) AWS, 4) ENERGAS, 5) DIN, 6) CNEA, 7) IRAM, 8) AD-Merkblätter 9) Adaptación a normas de futura implementación



Fig. 13: Gasoducto 24" colgante



Fig. 14: caño tricapa torneado



Fig.15: contrastación con US en Scan B
O técnica EMAT

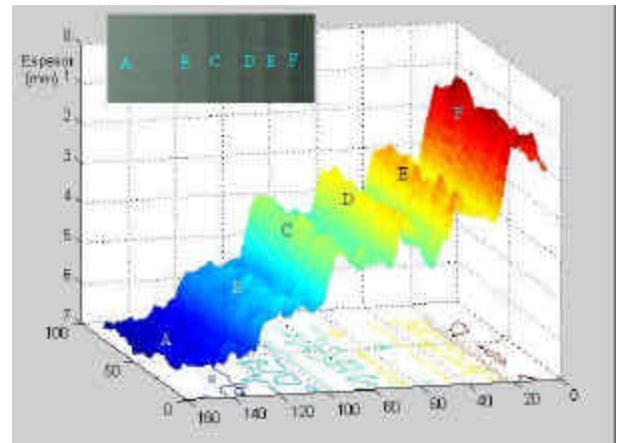


Fig. 16: Gammagrafía en 2D y 3D, caño
Tricapa mediante tratamiento de imagen

GAMMAGRAFÍA
EN 3D

LINESCAN

Placa GAMMAGRAFÍA
Y TOPOGRAFÍA

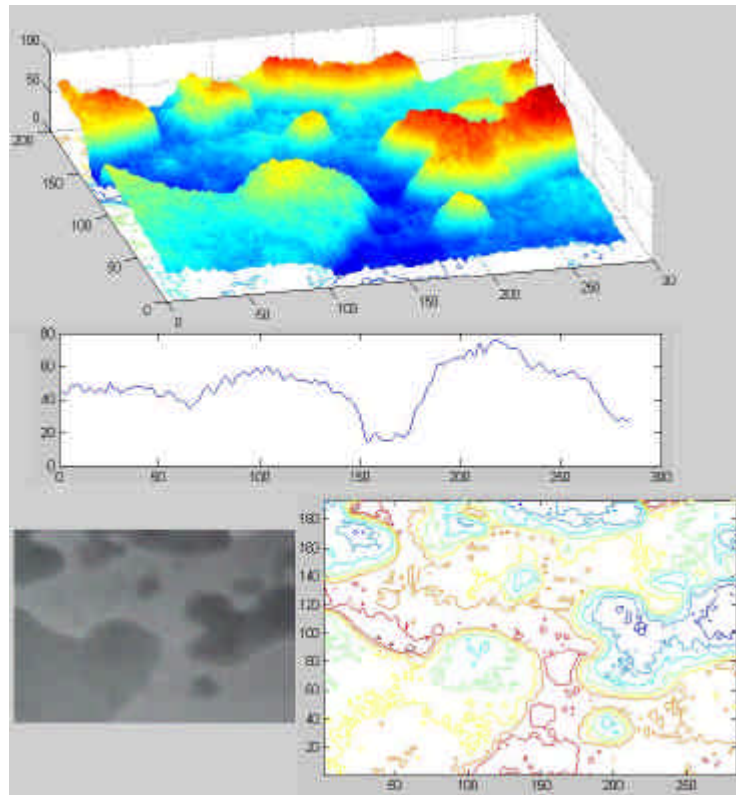


Fig.17: Gammagrafía en 2D y 3D , con tratamiento de imagen, el Linescan y topografía en 2D

- 1- Este procedimiento se puede adaptar a distintas necesidades de cada empresa.
- 2- El uso de dos técnicas de ensayos no destructivos garantiza que la medición es 100% correcta y la certificación del estado en que esta el recipiente es confiable por la contrastación de ambas. Se realiza sobre piezas con recubrimientos anticorrosivos.
- 3- Se puede realizar sin cambiar la programación de operaciones, las inspecciones de pueden realizar durante el pleno funcionamiento del recipiente.
- 4- Es un procedimiento que no afecta al medio ambiente.
- 5- Permite realizar cálculos de **vida remanente** del recipiente en cuestión.
- 6- Se complementa perfectamente a la utilización del *Scraper*, pudiendo evaluar zonas donde este no accede y que en general tienden a tener mayor corrosión o fallas. Permite la programación de las inspecciones y de las reparaciones, ya que posibilita estudios **predictivos**.
- 7- Facilita la generación de una base de datos y de la historia del recipiente estudiado, permitiendo una evaluación en 4D, de la situación particular de ese recipiente en especial, siendo un método de aplicación general, es flexible para adaptarlo a casos especiales.

Conclusiones Como se pudo observar de los casos estudiados, la posibilidad de generar soluciones para la industria desde las Universidades es concreta. La UN Cuyo, ha mostrado resultados mas amplios inclusive. Desde un modesto grupo del interior de Neuquén se proveen soluciones tecnológicas de avanzada, en el marco de los sistemas de gestión, con propuestas renovadoras en las definiciones del perfil del Ingeniero del siglo XXI: Mayor formación científica, mayor inserción en la industria, mayor

internacionalización y basarse en la generación de conocimiento tecnológico, con el objeto de aportar innovación. Los escasos recursos pueden ser mejor aprovechados, con la condición de generar una escuela de ingeniería para este nuevo paradigma. La necesidad de llegar a un tamaño crítico de personal capacitado, es una necesidad de la comunidad. Solo desde la industria es imposible poner en marcha el sistema productivo, los ejemplos de Irlanda en los últimos 15 años, Alemania de post-guerra, entre otros demuestran que comunidades dispuestas y con el necesario CAPITAL INTELECTUAL, pueden movilizar a sociedades enteras

Una mayor contribución de las Universidades sería deseable, no solo en el área de capacitación, también en procedimientos mecánicos y de mantenimiento, así como desarrollos en preventiva y predictiva identificados previamente con la industria. La prospectiva es entonces un futuro predecible, que debe comprender que los sistemas de gestión actuales deben integrarse a la ingeniería preventiva y predictiva, bajo un marco de gestión de capital intelectual.

Bibliografía

- 1- Nonaka, I. y Johansson, J.K., 1985,183
- 2- Capitulo 11. High-Performance workplaces and Intangible investments . P.293
- 3- Recommended Practice for procedures respectively, Maintenance, Repair and remanufacture of Hoisting equipment- API Recommended practice 8B, 6^{TA} edición, Diciembre 1997 fecha efectiva: Mayo 1998).
- 4- Specification for drilling and Production Hoisting equipment (PSL1 y PSL2) - API Recommended practice 8C, 3^{ra} edición Diciembre 1997 (fecha efectiva: Mayo 1998).
- 5- "Materials in Mechanical Design", M.F. Ashby, Edición 1995, Oxford, Butterworth - Heineman, ISBN 0 7506 2727 1.
- 6- "Taschenbuch der Erdöl - Industrie", M. Merkel, K. Thomas, edición 1994, Leipzig, Fachbuchverlag, ISBN 3-343-00845-1.
- 7- „Derricks“, ASME B30.6, 1995. „Mobile and Locomotive Cranes“, ASME B30.5, 2000.
- 8- “Nuevo Estado del Arte en Seguridad y Mantenimiento de Torres y Mástiles Estructurales.” Procedimiento Mástiles PETROTECNIA-IAPG 2001