La Triple Incertidumbre para la gestión de proyectos de innovación: El caso de la simulación del proceso Mannesmann en Tenaris

Gustavo L. Seijo

Gustavo L. Seijo es PhD in Management Studies en King's College (University of London). Actualmente se desempeña como profesor-investigador en el Instituto de la Industria de la Universidad Nacional de General Sarmiento. Su línea de investigación principal y su trabajo de consultoría están abocados a la gestión de I+D científico-tecnológico.

Este artículo intenta reflejar el camino complejo que existe detrás de la innovación corporativa. Para ello, el estudio se basa en el análisis de datos de campo de investigación y desarrollo (I+D) tecno-científica en Tenaris y, más particularmente, del proyecto de simulación computacional del proceso industrial Mannesmann.

La perspectiva del marco de análisis propuesto en este artículo, la Triple Incertidumbre (TI), se contrapone a un vasto corpus de literatura en el que se destacan implicancias lineales y mensurables por las que la producción de conocimiento ineludiblemente promueve la emergencia de capacidades dinámicas corporativas.

La Triple Incertidumbre destaca los inconvenientes de pensar la gestión de I+D como un proceso lineal y pone en duda las posibilidades de medir eficiencia dentro de ese ámbito. Asimismo, contribuye a una comprensión más abarcativa del proceso de producción de conocimiento que rodea a proyectos de ciencia y tecnología desarrollados dentro del ámbito empresarial. En este sentido, la TI reconoce que la gestión de I+D debe tener en cuenta: a) interdependencias académicas y de proceso ocultas entre proyectos de desarrollo, b) las contribuciones heterogéneas y difícilmente mensurables de estos proyectos, c) las trayectorias de desarrollo inciertas y no lineales de estos proyectos, d) la frontera difusa que separa el éxito y el fracaso en I+D, e) la coordinación de tres redes de acción, y f) la coexistencia de conocimiento científico-tecnológico vis-a-vis otros tipos de conocimiento (industrial y de negocio).

La producción de conocimiento como proceso no-lineal

Un fantasma recorre la literatura de innovación y gestión de conocimiento. Desde los días del informe de Vannevar Bush *Ciencia: La frontera sin fin* (1945/1999) un trayecto lineal a la vez que mensurable parece tácitamente establecer un vaso comunicante que vincula el desarrollo de la ciencia y tecnología (*qua* producción de conocimiento sistemática) e innovación (léase, la generación efectiva de nuevos productos y servicios siguiendo la tradicional impronta Schumpeteriana, o la mejora de procesos productivos). A pesar de que este espectral modelo lineal de innovación ya no forma más parte del debate académico de nuestros días,[1] sus premisas pueden aún hoy ser fácilmente encontradas disimuladas bajo la apariencia de teorías subyacentes dentro de un cuerpo teórico que abarca los campos de gestión de investigación y desarrollo, el desarrollo de nuevos productos y la creación y gestión de conocimiento.

Comencemos con una definición de los términos. El modelo lineal de innovación separa –sugiriendo que esta división es posible y aproblemática– la producción de conocimiento tecno-científico en *a)* investigación básica, *b)* investigación apli-

[1] El artículo de Benoit Godin (2006) *The Linear Model of Innovation: The Historical Construction of an Analytical Framework* es uno de los pocos artículos dedicados enteramente al modelo lineal. También, la Revista Redes de la Universidad de Quilmes ha publicado un dossier entero sobre el modelo lineal en 1999 donde se puede encontrar una versión completa y traducida al castellano del artículo original de Vannevar Bush.

cada, *c)* desarrollo, y *d)* (producción y) difusión. Dejando de lado de momento las circunstancias históricas que llevaron al desarrollo del modelo lineal y muchas de las críticas que ha sufrido (por ejemplo, a manos de los teóricos de la Triple Hélice; Etzkowitz y Leydesdorff, 2000) en esta sección se intentará hacer una sucinta reseña de algunos de los foros (en particular los de administración o *management*) que este espectro aún habita.

La escuela del Desarrollo de Nuevos Productos, por un lado, trata innovación y el proceso de generación de nuevos productos y servicios como sinónimos. Esta línea de investigación denomina *investigación y desarrollo* sólo a aquellos proyectos de I+D con alto grado de tasa de cambio de productos y procesos (Clark y Wheelwright, 1992a, 1992b; Burgelman *et al.*, 1996). Estas tasas de cambio (de productos y procesos) son representadas con escalas lineales en ambos casos. Estas escalas, a su vez, delimitan las áreas de un mapa que combina proyectos de desarrollo *a)* derivados, *b)* de la generación siguiente, *c)* radicales y, finalmente, *d)* los anhelados proyectos de I+D de avanzada. Esta perspectiva aboga por el establecimiento de una canasta balanceada de proyectos de desarrollo que combine proyectos con distintas tasas de cambio. Esta línea de pensamiento, por lo general, fomenta un cierto maniqueísmo teórico para abordar y clasificar el resultado de investigación y desarrollo (véase, por ejemplo, el estudio de Zirger y Maidique de, aproximadamente, 330 productos de la industria electrónica clasificados como *éxitos* y *fracasos*; Zirger y Maidique, 1990). A pesar de que este enfoque reconoce explícitamente que hay una variedad de métricas para evaluar el rendimiento del desarrollo de productos (Griffin y Page, 1996; Mallick y Schroeder, 2005) y la necesidad de mejor comprender las interrelaciones entre estas medidas de rendimiento (Brown y Eisenhardt, 1995) poco ha sido dicho en este foro acerca de la caja negra de producción de conocimiento (esto es, qué sucede si intentamos entender la gestión de I+D a través de *a)* marginalizar la importancia del resultado final, sea éste financiero o de mercado, y *b)* enfatizar el rol de la generación potencial de capacidades dinámicas organizacionales; Eisenhardt y Martin, 2000; Teece *et al.*, 1997).

Otro autor de esta escuela (Pisano, 1997) intenta incluso caracterizar industrias mediante el gradiente de una tasa de cambio (también lineales) de productos y procesos. Por ejemplo, se menciona en esta fuente que la industria siderúrgica posee una alta tasa de cambio de procesos industriales pero una tasa de cambio baja de productos. En un trabajo reciente sobre la industria biotecnológica, Pisano (2006) representa las fases investigación y desarrollo de nuevas drogas como un trayecto lineal que comienza con *la identificación de un objetivo* y culmina con *la aprobación de la entidad regulatoria*.[2] Por más que el autor reconoce que la vasta mayoría de los proyectos de I+D en la industria biotecnológica fracasa y que el desempeño en este ámbito supone la integración de conocimientos heterogéneos y complejos, estos fracasos en sí mismos y la complejidad inherente al ensamblado de conocimientos sólo son analizados a través de los resultados finales que arroja el proceso de I+D. La mayor parte de la complejidad de la producción de conocimiento y la trayectoria impredecible de proyectos basados en el desarrollo de ciencia y tecnología fueron, una vez más, transformados en caja negra o marginalizados detrás de los *números* que parecen dar cuenta de éxito empresarial.

G. Dosi *et al.* (2005) comentan que algunos académicos han transformado el clásico modelo lineal de oferta en uno de demanda. Puede encontrase dentro de esta perspectiva a Von Hippel (1978, 1985) quien destaca el rol de los *usuarios líderes* (es decir, usuarios al frente de las últimas tendencias cuyas necesidades más sofisticadas

[2] Esta representación de fases de desarrollo de nuevos productos siguiendo trayectorias lineales no es precisamente una idea nueva. Desde los tempranos '80 una variedad de cronogramas de fases lineales puebla la literatura de innovación (véase por ejemplo Urban y Hauser, 1980).

constituyen el germen mismo de la innovación). Esta corriente de pensamiento simplemente ha invertido el sentido del modelo lineal: un modelo lineal de innovación de oferta se cambió por otro –igualmente lineal– pero, esta vez, de demanda.

Por último, la perspectiva de creación de conocimiento (Nonaka y Takeuchi, 1995) destacan la importancia que la gestión japonesa le asigna a la dimensión tácita del conocimiento (Polanyi, 1969). Se promueve en este foro que las empresas desarrollen sistemáticamente su base de conocimiento mediante la identificación de distintas expresiones de saber no formalizado o tácito. Nonaka y Takeuchi *(op. cit.)* explican desde el comienzo de su libro que la competitividad japonesa se da a través de una relación de implicación lineal que une *a)* la creación de conocimiento, *b)* la innovación continua (cálculo que esto es casi un oxímoron), y *c)* las ventajas competitivas corporativas.

Luego de esta breve reseña podríamos preguntarnos ¿qué es lo que lleva a tantos autores contemporáneos y destacados a hablar de innovación como un proceso lineal y divisible en etapas? La respuesta es sencilla: la linealidad favorece o, más precisamente, simplifica la medición. Una cantidad determinada de nuevos productos y servicios puede medirse, así como también un gradiente de tasa de cambio, y el grupo de usuarios líderes de un producto puede representarse mediante una distribución de frecuencia. Cabe mencionar que algunas o todas estas métricas (junto con *la distancia temporal al mercado,* el *ramp-up* de un desarrollo de I+D, la presupuestación de I+D, la participación de mercado de un producto, su desempeño tecnológico y el costo unitario) parecerían ofrecer un sinnúmero de certezas menores pero mensurables para gestionar la *caja negra* de la innovación empresarial. Sin embargo, cabe destacar también que este corpus de literatura aún marginaliza o desecha aspectos tales como *a)* la producción de conocimiento *qua* proceso no lineal y su vinculación con las operaciones organizacionales, la estrategia corporativa y la potencial generación de capacidades dinámicas, *b)* la complejidad inherente a las nociones de *éxito* y *fracaso* (los viejos impostores de Kipling) en el desarrollo de ciencia y tecnología, *c)* las interdependencias entre proyectos de desarrollo de una misma organización, *d)* la elección estilística y cualitativa de campos académicos que una organización debería explorar (esto es, el problema de alocación de sus sensores de conocimiento, hablando en términos cibernéticos; Beer, 1995), *e)* la coexistencia de diferentes tipos de conocimiento para abordar y gestionar un mismo fenómeno y, por último, *f)* el rol central de la incertidumbre cuya influencia se extiende a todas las instancias de la gestión de I+D y conocimiento dificultando cualquier tipo de medición de desempeño. La interacción de todos estos elementos –es decir, el explorar la caja negra de producción de conocimiento– constituye el objeto de estudio central de este artículo.

Tenaris

Tenaris es una empresa líder a nivel mundial que produce tubos de acero sin costura y servicios asociados destinados principalmente a la extracción y transporte de petróleo y gas. Tenaris es la mayor empresa del Grupo Techint en términos de facturación. Los tubos de acero sin costura son producidos en plantas industriales ubicadas en la Argentina, México, Italia, Japón, Canadá, Estados Unidos, Venezuela, y Rumania. De acuerdo con información pública de la empresa, Tenaris, en la actualidad, produce 6 millones de toneladas de tubos de acero y cuenta con 21.500 empleados en todo el mundo *(Fuente: http://www.tenaris.com/en/AboutUs/files/Tenaris_presentation.pdf Fecha de Acceso: 15 de Diciembre de 2006).*

El Centro de Investigación Industrial (CINI)

El CINI es uno de los centros de investigación y desarrollo industriales que dan soporte a las actividades de Tenaris y otras empresas del Grupo Techint. El CINI se encuentra en Campana, en los suburbios de la Ciudad de Buenos Aires y concentra una cantidad considerable de los proyectos de I+D de Tenaris. Este enclave científico-tecnológico comprende actividades de desarrollo de nuevos productos, la optimización de productos existentes, y la optimización y desarrollo de procesos productivos. Los proyectos del CINI abarcan diferentes campos de saber como la metalurgia del acero, la mecánica computacional, la mecánica de fracturas, la química de revestimientos y superficies. El CINI también hace las veces de interfase entre la industria y redes académicas que vinculan universidades y laboratorios.[3] Como menciona un investigador (Artopoulos, 2006: 16) que hizo un estudio reciente sobre Tenaris,

"La red de conocimiento además de establecerse con la planta se desarrolló con la comunidad científica internacional a medida que el centro [el CINI] se fue consolidando. Al ser un centro joven tuvo la ventaja de dirigirse directamente a las áreas de conocimiento en siderurgia más innovadoras, tales como Mecánica Computacional sin sufrir la carga de las áreas de conocimiento conservadoras. *La función de la red de conocimiento es producir conocimiento, publicar papers en congresos y journals científicos, y producir tecnología mecánica de productos tubulares, tecnología de producción de acero y tecnología de hornos."*

[3] El carácter de rizómico de la producción de conocimiento en Tenaris va a ser desarrollado en la sección dedicada a la Triple Incertidumbre.

El Proceso de Conformado de Metales *(Metal Forming)* constituye una de las áreas tecnológicas más importantes del CINI dedicadas a mecánica computacional. Este área hace simulaciones físico-matemáticas que analizan a detalle el comportamiento de procesos industriales. El método de elementos finitos (FEM) es la herramienta analítica utilizada para estudiar las tensiones y deformaciones del acero en estas simulaciones.[4] Sucintamente, el FEM divide un continuo de material (acero, en este caso) en pequeñas celdas y estudia a detalle el comportamiento de cada celda cuando el material sufre una deformación.

[4] El Método de Elementos Finitos (FEM) permite, tomando como dato las deformaciones que ha sufrido un determinado material, conocer cuáles son las tensiones que generaron tales deformaciones.

El principal objeto de estudio de esta investigación es el proyecto de desarrollo de una simulación computacional del proceso Mannesmann (perforado de tubos de acero). El proceso Mannesmann transforma un cilindro sólido de acero en el semielaborado de un tubo sin costura. Este proceso se encuentra en el corazón del proceso continuo de elaboración de tubos de acero.

Figura 1. El método de elementos finitos

El método de elementos finitos estudia el comportamiento de un continuo dividiéndolo en una malla de celdas. La *Figura 1* representa un tubo a medio perforar (esto es una barra detenida durante el proceso Mannesmann).

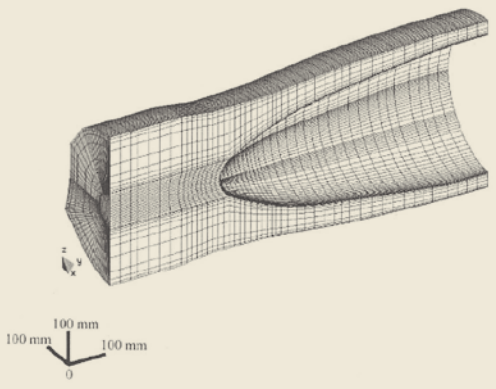


Figure 15. Finite element mesh used for case 1 (314 097 d.o.f.).

Fuente: Berazategui et al., 2006: 1130

El Proceso de manufactura de tubos de acero sin costura

En una primera etapa de manufactura, se calienta chatarra seleccionada y mineral de hierro a 1600ºC para luego conformar barras de acero sólidas. Estas barras de acero continuas entran a la segunda fase del proceso de producción donde son cortadas en tochos (esto es, cilindros sólidos de acero de menor tamaño). Los tochos son calentados en un horno giratorio a aproximadamente 1250ºC. Una vez fuera de este horno giratorio, se retira una capa de óxido de cada cilindro y se lleva a cabo una perforación a través del proceso Mannesmann para conformar una carcasa hueca que constituye el semielaborado de un futuro tubo de acero sin costura.

Durante el proceso Mannesmann cada tocho se coloca entre dos rodillos que hacen presión –a la vez que hacen girar– estas pequeñas barras de acero caliente. Se produce una fractura interna dentro del cilindro debido a esta presión (a este proceso mecánico de fractura interna se lo conoce con el nombre de efecto Mannesmann). Esta abertura interna en la barra de acero se forma antes de que la lanza (llamada *piercer* en la jerga industrial) penetre en el material. El *plug* es la punta de esta lanza que entra en la barra de acero rotatoria (solamente) guiando la fractura interna formada a través del efecto Mannesmann. La lanza no produce ningún agujero en el material, solamente guía una fractura y torna lisa la superficie interna del futuro tubo de acero.[5] Como lo detallan un grupo de investigadores del CINI (Berazategui *et al.*, 2006: 1126) en una publicación académica reciente:

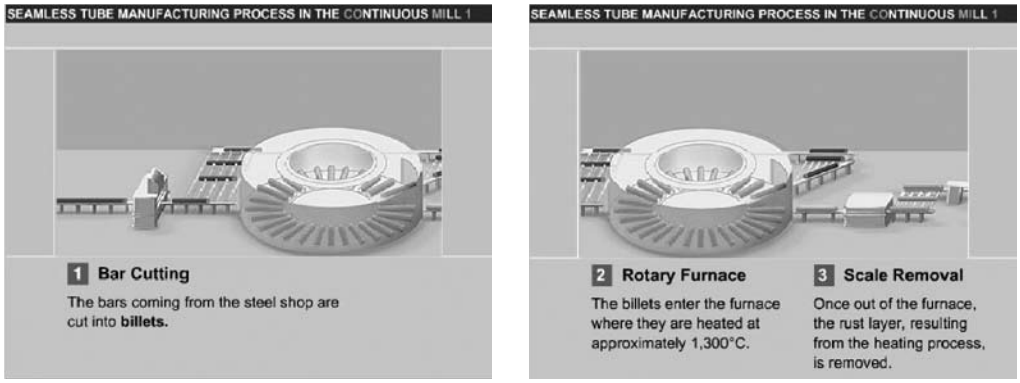
[5] Una descripción detallada de las distintas partes del proceso productivo por el que la forma y la superficie de un semielaborado se transforma en un producto terminado con determinadas propiedades físicas y mecánicas excede por mucho el alcance de este artículo.

"El agujero central no es perforado por el plug*; se forma en el centro de la barra donde el material es más débil debido al sistema rotatorio de fuerzas ortogonales de tensión/compresión inducidas por la rotación en la zona de convergencia de los rodillos bicónicos (efecto Mannesmann). Un tubo puede llegar a ser producido incluso sin el* plug*; pero, en ese caso, el agujero central tendrá una forma irregular estriada en vez de la lisa que se busca. La función del* plug *es guiar el material luego del efecto Mannesmann y evitar la oxidación de la nueva superficie interior."*

El que las futuras propiedades mecánicas –y, por ende, la calidad– de un tubo terminado dependan en gran medida de este proceso industrial crítico incrementa la importancia de poder predecir su comportamiento.[6]

[6] Los proveedores de tubos de acero literalmente *venden* las especificaciones del producto. Una parte considerable de las especificaciones (léase, propiedades físico-mecánicas) de este producto dependen del proceso Mannesmann.

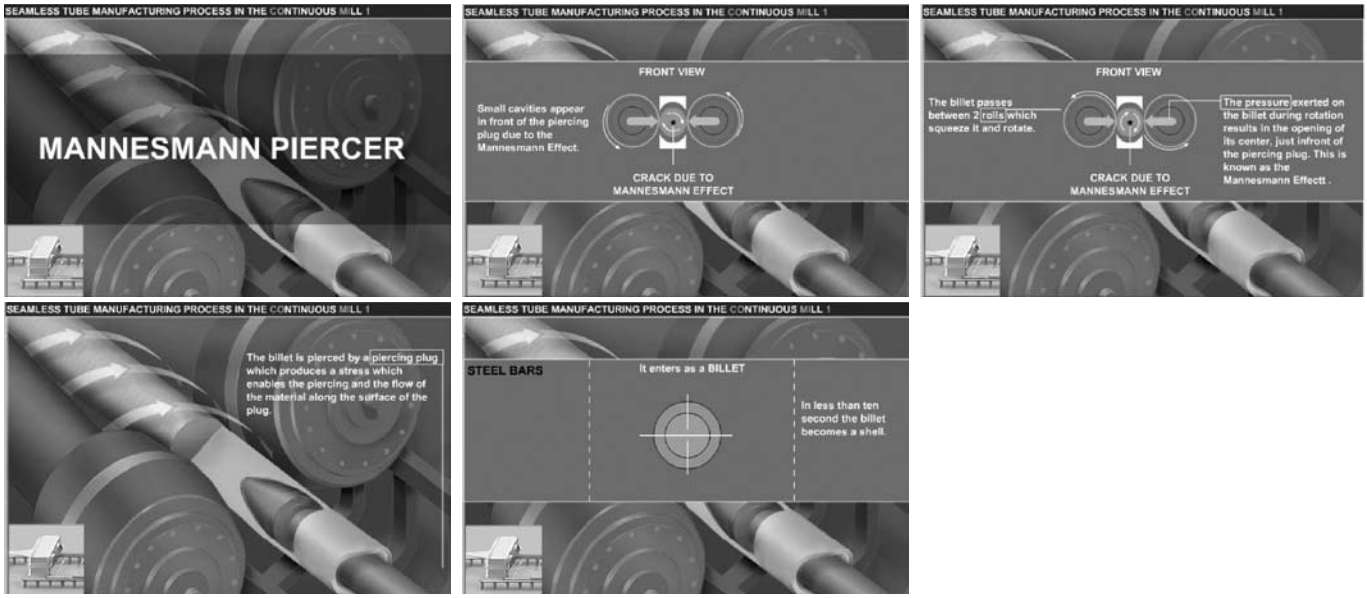
Figura 2 y 3. Proceso de manufactura de tubos de acero sin costura



Fuente: http://www.tenaris.com/en/AboutUs/Prod_Proc_seamless.asp

(Fecha de Acceso: 2 de Enero de 2007)

Figura 4 a 8. El proceso Mannesmann



Fuente: http://www.tenaris.com/en/AboutUs/Prod_Proc_seamless.asp (Fecha de Acceso: 2 de Enero de 2007)

Metodología

Recolección de datos

La primera pregunta de investigación de este estudio fue *¿qué tipo de procesos de traducción –léase, circulación y transformación (Latour, 2005: 106-109)– deben necesariamente sufrir los desarrollos de un centro de investigación científico-tecnológico altamente especializado para poder contribuir al desarrollo de capacidades corporativas dinámicas?* Durante la primera etapa de investigación la recolección de datos comprendió:

> Entrevistas narrativas en profundidad cara a cara (Jovchelovitch y Bauer, 2000; Silverman, 1993) con *a)* los investigadores del CINI (Centro de Investigación Industrial de Tenaris) que trabajan en la simulación del proceso Mannesmann, *b)* los usuarios potenciales de los resultados de esta simulación, *c)* investigadores del CINI que trabajan en otros dos proyectos de I+D, y *d)* interlocutores relevantes para este estudio que no trabajan para Tenaris (esto incluye desde académicos especializados en ciencias duras hasta investigadores que estudiaron Tenaris o el CINI previo a este proyecto).
> Datos complementarios de: *a)* material institucional de Tenaris, y *b)* publicaciones académicas y no académicas sobre Tenaris y el CINI.
> Una visita a la planta de Tenaris en Campana.
> Asistencia a conferencias y seminarios de los investigadores del CINI.

Luego de esta primera fase exploratoria, se decidió focalizar el análisis de este estudio en el modelado computacional del proceso Mannesmann. Una reseña bibliográfica detallada del estado del arte en simulaciones del proceso de perforado (abarcando el trabajo de los investigadores del CINI, el de otros investigadores en el mundo y la historia del modelado de este proceso industrial) y una segunda ronda de entrevistas focalizas con los investigadores a cargo de la simulación complementaron los datos recabados durante la primera fase. Dado que los temas relacionados con incertidumbre cobraron relevancia en este análisis del estilo de gestión de I+D de Tenaris, la segunda fase de estudio abordó la pregunta *¿qué tipos de incertidumbre se encuentran*

presentes en la gestión de la simulación del proceso Mannesmann? Este cambio en la pregunta de investigación central fue también incorporado a las preguntas generativas (Strauss, 1987) utilizadas en los cuestionarios de la segunda fase de este estudio.

El nuevo foco de análisis en el modelado computacional del proceso de perforado obedeció a que *a)* varios interlocutores de la empresa clasificaron este proyecto como *estratégico, b)* una implementación exitosa de este proyecto no generará nuevos productos o procesos industriales *per se,* hablando en términos tecnológicos, *c)* este proyecto forma parte de una red de proyectos de I+D; esto último contribuye a incrementar su potencial para la emergencia de capacidades corporativas dinámicas (el modelado computacional de un proceso no tiene necesariamente como correlato una innovación; en cambio, una simulación dada puede llegar a constituirse uno de los varios *factores contribuyentes* para producir una o más innovaciones), y *d)* las fuentes de incertidumbre enumeradas en este artículo han estado presentes en todas las fases de desarrollo de este proyecto de I+D hasta el presente.

Análisis de datos

Todas las entrevistas fueron transcriptas por completo, analizadas discursivamente (Czarniawska, 1997, 1998; Grant et al., 2004) y codificadas a través del software ATLASti. En total, fueron analizadas unas 12 horas de entrevistas.

La mayor parte de las categorías analíticas (Glaser y Strauss, 1967) construidas en este estudio reflejan distintos tipos de incertidumbre presentes en el proceso de producción de conocimiento tecno-científico dentro del marco empresarial. Siguiendo los lineamientos de la teoría fundada, se buscaron patrones de propiedades únicas en el ámbito empírico (esto es, los emergentes del análisis de campo fueron comparados con teoría previa). Se intentó combinar teoría fundada y análisis discursivo a modo de intentar superar las limitaciones que plantean cada una de estas perspectivas (Alvesson y Skoldberg, 2000). De esta manera, categorías analíticas provenientes del trabajo de campo fueron analizadas a la par de categorías discursivas (permitiendo incorporar, de esta manera, dimensiones ocultas o tácitas al análisis). La Triple Incertidumbre es solamente el nombre del marco de análisis que integra las actividades de tres redes de acción vinculadas a la gestión de I+D.

Dando cabida a una solicitud de algunos investigadores se han anonimizado las identidades de todos los entrevistados que participaron de este estudio. En todos los casos, esta carencia de referencias personales no interfiere con la comprensión del análisis.

Por último, las fuentes documentales originalmente publicadas en inglés han sido traducidas al castellano para ser incorporadas –cuando citadas– a este trabajo. Se privilegió en este trabajo de traducción el preservar el sentido original del texto en inglés más que la posible correspondencia palabra a palabra de un idioma a otro.

La Triple Incertidumbre (TI)

La Triple Incertidumbre (TI) está basada en el análisis de datos de campo de la práctica de I+D tecno-científica en Tenaris y, más particularmente, del proyecto de simulación computacional del comportamiento del proceso industrial Mannesmann. Es preciso clarificar también desde un comienzo que, aparte de estos

datos de campo, el marco teórico del proceso de traducción (Callon, 1981, 1986) se encuentra en la centralidad de la TI. En contraste con el tradicional proceso (lineal) de difusión que toma los resultados de un proyecto y la agencia del supuesto inventor como puntos de partida relevantes para el análisis de una innovación (Latour, 1987), la incertidumbre –como eje teórico– es parte constitutiva del proceso de traducción. Un rápido vistazo a la historia contemporánea de los estudios de ciencia y la tecnología señala que la incertidumbre puede llegar a encontrarse en, por ejemplo, el fracaso de los investigadores para predecir el anclaje de las vieiras en la bahía St. Brieuc (Callon, 1986), las dificultades para volver caja-negra el motor Diesel (Latour, 1987), la configuración de miembros y no-miembros en redes de conocimiento (Woolgar, 1991), y la emergencia de los *ingenieros heterogéneos* portugueses *(avant-la-lettre)* que fueron capaces de estabilizar una vasta red de actores cuya coordinación permitió la navegación de larga distancia (Law, 1986).

En su grado cero, se puede argumentar que la TI intenta integrar las actividades y conocimientos de tres redes de acción (Czarniawska, 1998, 2004) relacionadas con la dinámica de la gestión de I+D tecno-científica. Estas redes de acción son *a)* el cuerpo estratégico o de toma de decisiones a largo plazo de I+D, *b)* la red de producción de conocimiento tecno-científico propiamente dicha (mayormente integrado por miembros del CINI en el caso de Tenaris), y *c)* la red de usuarios e implementadores de estos desarrollos tecno-científicos.[7] Estas tres redes de acción no constituyen regiones con fronteras perfectamente definidas (Mol y Law, 1994). En cambio, una red en forma de rizoma (esto es, una topología potencialmente infinita difícilmente estabilizable que trasciende el marco de estas redes de acción y fluye a través de prolongaciones hacia, por ejemplo, foros académicos; Deleuze y Guattari, 1988; Eco, 1987) comienza a cobrar forma merced a un proceso de negociación constante que produce sucesivas asociaciones y sustituciones (Latour, 1991). A pesar de que el análisis de datos permite diferenciar de alguna manera estas redes de acción; la gestión de la simulación del proceso de perforado de tubos supone –y requiere– un proceso de producción de conocimiento interconectado (*qua* proceso de atención colectiva; Weick y Roberts, 2001 o cognición distribuida; Hutchins, 1995; Brown y Duguid, 2001; Tsoukas, 1996).

[7] Dado el sesgo de Teoría del actor-red de este artículo, sería correspondiente aclarar que la mayor contribución de la Triple Incertidumbre supone interacción entre redes de acción más que la departamentalización de *lo social* en bloques.

Figura 9. Las redes de acción de la Triple Incertidumbre



A su vez, este rizoma corporativo de I+D es el encargado de gestionar tres grandes fuentes de incertidumbre relacionadas con tres procesos de traducción, a saber, a) cuáles son las líneas de investigación científico-tecnológicas a ser exploradas por la organización, b) cuáles serán los resultados potenciales de la labor científico-tecnológica emprendida, y c) cuál será la posibilidad de implementar los resultados del trabajo científico-tecnológico en el ámbito industrial. En resumen, la integración de redes de acción propuesta desde la TI sugiere que, cuando menos, tres redes de acción interconectadas –a la vez que diferenciadas– trabajan a un mismo tiempo en la producción de conocimiento corporativo. La TI señala además tres grandes interrupciones en el trayecto –muchas veces considerado lineal (Bush, 1945/1999)– que une una idea y su potencial aplicación tecnológica. La TI no puede llegar a ser considerada *un modelo* porque cualquier intento de *transportarla* desde Tenaris o el CINI hacia otros ámbitos puede volverse altamente problemático. Más aún, el tipo de análisis propuesto por la TI está muy lejos de ser prescriptivo o programático (en otras palabras, ninguna secuencia de pasos a seguir puede ser obtenida o derivada de este tipo de análisis).

Es dable aclarar que un entendimiento pormenorizado de las fuentes de incertidumbre de la TI no vuelve, por ejemplo, el resultado de la inversión en I+D de una organización ni un ápice más predecible. Nada puede erradicar definitivamente la incertidumbre, toda vez que esta última es parte central de la gestión de I+D que intentamos abordar. *La TI puede, sin embargo, contribuir a mejor entender la gestión de carteras (científico-tecnológicas) complejas de proyectos de I+D a través de la identificación de obstáculos potenciales y cuellos de botella que puedan llegar a atentar contra su desarrollo. La TI explora la trayectoria de circulación de estos proyectos a través de las tres redes de acción.*

Esta dinámica de fuentes de incertidumbre *vis-à-vis* redes de acción nunca puede llegar a ser *resuelta* de forma exacta utilizando, por ejemplo, indicadores duros. Esta imposibilidad radica en que la complejidad de I+D demanda una gran cuota de gestión estilística (Ackoff, 1976). Sólo luego de haber claramente especificado una estética de gestión de I+D (esto es, detallar cualitativamente un *ethos* de I+D) pueden las medidas de desempeño tradicionales llevar la delantera en la agenda de conocimiento corporativo.

Por último, pero no por ello menos importante, hay que destacar que no todas las iniciativas de I+D en Tenaris están necesariamente emparentadas con el desarrollo de ciencia y tecnología. Quiere decir esto que existe también un punto de pasaje que conecta directamente la red de acción estratégica con la de la planta industrial. Esta *alternativa* no formará parte del análisis propuesto en este artículo.

Habiendo delineado su perfil ontológico, cabe aclarar que la TI puede también llegar a ser de utilidad para tomadores de decisiones de I+D a fin de lograr comprender más acabadamente los pormenores de la producción de conocimiento tecno-científico en el ámbito empresarial. En los párrafos venideros se detallarán algunos lineamientos del estilo de producción de conocimiento de Tenaris (analizando el desarrollo de un proyecto específico) para mejor comprender cómo este tipo particular de gestión empresarial ha abordado las fuentes de incertidumbre aquí reseñadas.

Figura 10. La Triple Incertidumbre



La red de acción estratégica de I+D

La red de I+D estratégica es la encargada de la reproducción en el tiempo de un estilo de gestión de I+D *qua* proceso de construcción de sentido (Weick, 1995). A modo de ejemplo, la mayor parte de los entrevistados concordaron en rotular al modelado computacional del proceso de perforado como *estratégico.* Una parte considerable de la relevancia de este proyecto proviene del hecho que todas las plantas de Tenaris alrededor del mundo utilizan una tecnología de perforado similar para la producción de tubos de acero sin costura. Por otra parte, el CEO del Grupo Techint a menudo destaca la importancia de poder modelar el comportamiento del proceso Mannesmann. En el siguiente extracto un importante tomador de decisiones del CINI hace un comentario acerca de este parecer del CEO,

"Uno de los alegatos [del CEO] es [que] nosotros tenemos andando acá dos, en Dalmine dos ¿no? En Algoma uno, en Tamsa... Tenemos andando siete u ocho piercers *[perforadores] por todo el mundo; no puede ser que no tengamos un modelo [computacional]. Esto es mirando a todos los* piercer *que tenemos en Tenaris."*

La principal ventaja de contar con una buena simulación es que, una vez que se logre estabilizar este desarrollo, por medio de un cambio de los datos de entrada, el modelo computacional del CINI podrá simular procesos de plantas industriales geográficamente distantes que fueron construidas en distintas épocas y siguiendo distintos patrones arquitectónicos.

Como fue previamente señalado, las propiedades mecánicas y la correspondiente calidad de los tubos de acero dependen, en gran medida, de la posibilidad de predecir o simular el comportamiento del proceso Mannesmann. Cabe aclarar que la simulación computacional del proceso Mannesmann de los investigadores del CINI aún no ha sido terminada o estabilizada (hablando en términos tecnológicos). Un grupo de investigadores italianos (Ceretti *et al.*, 2004: 1154) que estudiaron este mismo proceso industrial en la planta Tenaris-Dalmine explica claramente por qué es importante –o estratégico– el poder predecir el comportamiento del proceso de perforado,

"Entender los fenómenos que ocurren durante el proceso de deformación es fundamental para poder optimizar los parámetros de este proceso.

Para reducir el número de testeos de prueba y error y el tiempo de preparación de maquinarias, es muy importante desarrollar modelos de simulación matemática que logren predecir el comportamiento del proceso (esto es, la calidad del producto terminado) bajo distintas condiciones de trabajo.

De hecho, incluso cuando simplificadores, los modelos pueden ser de utilidad para los técnicos a fin de encontrar las condiciones óptimas de trabajo a través de una reducción de la fase de prueba y error."

En resumen, un modelo computacional del proceso de perforado (incluso cuando éste no considere acabadamente toda la complejidad del proceso que analiza) contribuye a reducir tanto las operaciones heurísticas en planta industrial como el tiempo de preparación de maquinarias. Como fue previamente mencionado, *el poder precisar el lugar exacto de formación de la fisura interna (efecto Mannesmann) afecta directamente la calidad del producto terminado y la vida útil del herramental (fundamentalmente la lanza y el* plug*) que intervienen en ese proceso.* Si la formación del agujero interno comienza demasiado pronto (es decir, antes que el *plug* penetre en la barra) el material interno del tubo semielaborado puede llegar a oxidarse (estos tubos son descartados y estos descartes constituyen, precisamente, una de las medidas de rendimiento centrales a minimizar). Por otra parte, si la formación del agujero interno comienza demasiado tarde, el herramental puede sufrir un desgaste excesivo (en este caso, el *plug* estaría penetrando una barra de acero sólida).

Cabe aclarar que, en la producción de tubos de acero sin costura, la forma, el ángulo, y la distancia que separa el *plug* del tocho pueden llegar a alterarse en cientos de combinaciones posibles. Por otra parte, un modelo computacional puede ser de extrema utilidad para el desarrollo de nuevos productos (por ejemplo, al comenzar a utilizar nuevos tipos de acero).

Figura 11. La importancia del proceso Mannesmann

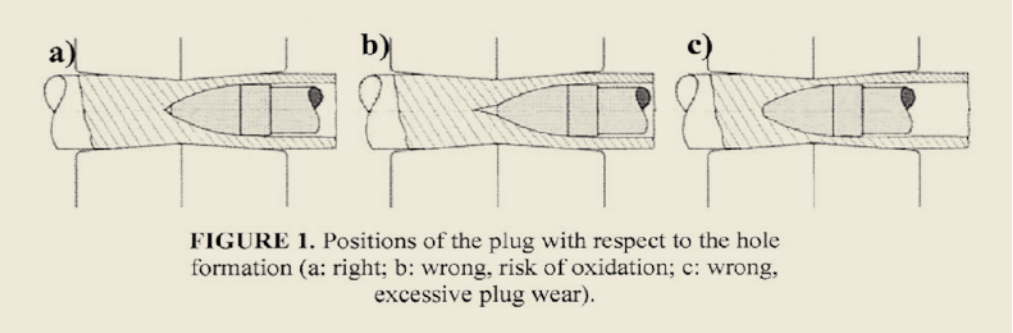


FIGURE 1. Positions of the plug with respect to the hole formation (a: right; b: wrong, risk of oxidation; c: wrong, excessive plug wear).

Fuente: Ceretti et al., 2004: 1155.

Citando a un tomador de decisiones del CINI, considerando que, recientemente, la mayor parte de las plantas industriales de Tenaris se encuentran trabajando veinticuatro horas al día, siete días a la semana *"usar la planta como laboratorio es una locura"*. Esta necesidad imperiosa de predecir el comportamiento de un proceso industrial refleja entonces la naturaleza particular de una industria continua trabajando en condiciones cercanas al tope de su capacidad instalada.

La industria siderúrgica es frecuentemente caracterizada como madura, o, cuando menos, lejos de las industrias de *alta velocidad* (Mendelson y Pillai, 1999). A pesar de esta idea *vox populi*, tomadores de decisiones de Tenaris temen la emergencia de nuevos competidores asiáticos y de Europa del Este. El mismo entrevistado del extracto anterior señaló qué tipo de teorías implícitas están por detrás de la estrategia de diferenciación de la empresa (léase, el tomar el camino científico-tecnológico para hacer investigación y desarrollo),

"Nosotros sabemos que de acá a siete años, cinco años, diez años, no importa, los chinos van a estar igual que nosotros y más baratos. Es decir que todo esto [los proyectos de I+D y el centro CINI] nos tiene que servir para diferenciarnos y producir mejor y más barato y en cosas diferentes porque, si no, esto sobrevive hasta que las plantas chinas hayan recorrido el mismo camino [que nosotros recorrimos]. Y lo van a recorrer, tienen gente con excelente formación científica, tienen dinero, han comprado equipos de primera...

Pero si de acá a diez años nosotros seguimos donde estamos, en ese momento vamos a ser los competidores desventajosos –o en condiciones de desventaja– de los chinos. Es decir, [al decir] chinos, [me refiero al] sudeste de Asia, Polonia, Ucrania, los países de la ex-Unión Soviética en donde la energía es barata, en donde el equipamiento lo paga el estado (y no hay que amortizar) y donde los sueldos no tienen sentido.

En este negocio la definición de lo que es commodity *y la definición de lo que es un producto diferenciado es un blanco móvil. Es decir, hoy son commodities lo que cuando yo empecé en la industria del acero [hace unos veinte años] eran productos diferenciados."*

Esta dinámica estratégica –basada profundamente en la constante diferenciación por medio de investigación tecno-científica– ha contribuido, de alguna forma, a conformar la sólida posición económico/financiera actual de Tenaris. Como el mismo entrevistado señaló, el precio de un tubo con una unión propietaria (diferenciada) de Tenaris puede ser hasta tres veces más alto que el precio de un tubo *commodity* con una unión no propietaria. Esta brecha de precios explica, de alguna manera, por qué el desarrollo de ciencia y tecnología juega un rol sustancial en la estrategia de *marketing* de Tenaris. Complementariamente, una entrevistada que formó parte de Tenaris hace poco más de una década indicó que, a menudo, los investigadores del CINI dan soporte científico-tecnológico a las iniciativas comerciales de la empresa. El *marketing* vinculado al desarrollo de ciencia y tecnología hace que los investigadores del CINI puedan, *a)* certificar científicamente las especificaciones de los tubos de acero, *b)* testear los tubos que la empresa produce bajo distintas condiciones de uso, y *c)* dar cuenta acabada de las fortalezas de toda la cartera de tubos de acero de la empresa y de los productos a ser desarrollados en el corto y largo plazo.

Primera fuente de incertidumbre: ¿Cuáles son las líneas de investigación científico-tecnológicas que deben ser exploradas? Los decisores de I+D deben traducir los lineamientos estratégicos de la sección anterior en un número limitado de líneas de investigación científico-tecnológicas. Yace en la definición misma de esta

primera fuente de incertidumbre, la certeza de que nada puede llegar a garantizar que una organización ha colocado sus sensores científico-tecnológicos (Beer, 1995; Weick and Sutcliffe, 2001) en los lugares correctos (o, alternativamente, si estas iniciativas de I+D han sido dirigidas a las áreas académicas que, potencialmente, contribuirán a la emergencia de nuevas generaciones de capacidades dinámicas).

Esta fuente de incertidumbre –que guarda cierto paralelismo con la incertidumbre radical (Piore, 1995) *qua* ignorancia de segundo orden (von Foerster, 1984), esto es, no saber qué es lo que debe conocerse (Tsoukas, 1996)– aborda el proceso de formación de un esquema de preferencias que luego direcciona los planes y la toma de decisiones (cf. la conformación de un estilo de gestión; Ackoff, 1976). Este marco de análisis dista bastante de la mera alocación de recursos en líneas de investigación (la clásica problemática de la economía neoclásica).

Estos lineamientos estratégicos de I+D deben, a su vez, ser traducidos para conformar una cartera de proyectos de I+D que vincula investigadores, cronogramas temporales, un rango de prioridades organizacionales, recursos (a modo de ejemplo, algunos proyectos del CINI involucraron la construcción de laboratorios y la compra de equipos) y un criterio para la demarcación de áreas de investigación.

Esta fuente de incertidumbre se encuentra localizada en el potencial punto de pasaje (Serres, 1991) que conecta las redes de acción estratégica y tecno-científica. Mientras comentaba la trayectoria no lineal de ciencia y tecnología y las dificultades para circunscribir proyectos de I+D dentro de un cronograma temporal, un tomador de decisiones de I+D señaló,

"El problema es que en la industria vos siempre fijás un tiempo; después se es razonable. Si vos demostrás que realmente... Es decir, en la industria siempre se programa lo que no excluye la re-programación. [Risas] No, no, no, lo digo seriamente. Te lo digo seriamente. Es decir, no excluye... [...] Podés re-programar pero nunca podés decir que no sabés cuando vas a terminar."

Esta pregunta da cuenta de una de las principales dificultades para *traducir* desarrollos científico-tecnológicos a lenguaje corporativo. Otra dificultad para coordinar prioridades corporativas y proyectos científico-tecnológicos radica en la trayectoria de múltiples bifurcaciones –muchas veces, interrumpidas– que siguen los desarrollos de ciencia y tecnología. Muy a menudo, los resultados pre-planificados de los proyectos de I+D (la programación a la que aludía el entrevistado) poco o nada tienen que ver con los resultados posteriores. Sin embargo, estas expectativas no cumplidas deben entenderse *vis-à-vis* la emergencia de productos de conocimiento derivados *(spin-off).* Una exploración a detalle de un campo de saber, muchas veces, puede redituar mejoras no planificadas de procesos industriales o contribuir al desarrollo de nuevos productos. Un investigador joven del CINI que trabaja en un proyecto a largo plazo explicó la naturaleza de estos productos de conocimiento derivados,

"El otro aspecto de mi trabajo tiene que ver con [...] desarrollar... No solucionar los problemas de hoy sino generar las soluciones del futuro. Es decir, desarrollar las tecnologías del futuro. Pero del futuro *es no de mañana si no de acá a 25 años. [...]*

Y no creo que esa sea la relación entre la ciencia y la tecnología. No hay una relación lineal, me parece. Creo que se acumula de un lado y de rebote *se vuelca un poco hacia el otro. Vaya a saber uno por qué mecanismo y cómo ¿no?*

Que trabajemos en un área que es loca *–por decirle de algún modo– en un proyecto ambicioso y loco, tiene impacto* de rebote *en otros proyectos para la compañía después."*

Este impacto *de rebote* –que es una parte sustancial de todo desarrollo de ciencia y tecnología– es uno de los aspectos más importantes de este proceso de traducción. Cualquier intento de balancear una cartera de proyectos de I+D debería poder contemplar estas interdependencias entre proyectos problematizando adecuadamente las nociones de éxito y fracaso dentro de este campo.

Sólo ocasionalmente puede suceder que un proyecto del CINI contribuya a generar un nuevo producto (por ejemplo, la unión Tenaris Blue que es uno de los productos estrella de la empresa). Pensado de esta manera, cada proyecto constituye un *factor contribuyente* a la mejora de procesos industriales o al diseño de nuevos productos o servicios. Por ejemplo, la simulación computacional del proceso Mannesmann no producirá nuevos productos o mejorará procesos industriales *per se*.

Otro ejemplo de lo antedicho es que el haber implementado un *proyecto de hornos* hace algún tiempo (un proyecto de I+D que estandariza la temperatura de los tochos que salen del horno giratorio) contribuyó a mejorar el desarrollo de un modelo computacional del proceso de perforado debido a la eliminación de la variedad de temperaturas en las piezas que entran a ese proceso industrial. La posibilidad de estas interdependencias imposibilita analizar e intentar entender el ensamblado científico-tecnológico (Mol, 2002; Law, 2004) desde el punto de vista de los resultados.

Finalmente y volviendo a la última parte de la cita de Ceretti *et al.* (2004: 1154) los modelos computacionales, incluso cuando simplificadores y con un grado de error considerable, constituyen un mejor medio para predecir el comportamiento de un proceso productivo que la heurística industrial (análisis histórico de ocurrencias en planta). Esto simplemente significa que, a menudo, trabajo científico-tecnológico que no pasaría una validación editorial para publicación puede llegar a ser extremadamente útil para el desarrollo de capacidades dinámicas. Del mismo modo, muchas veces, un importante desarrollo tecno-científico puede llegar a ser completamente irrelevante dentro del campo industrial o del negocio. Este tipo de dicotomía yace en el corazón de la gestión de proyectos de I+D.

La red de acción científico-tecnológica

En la gran mayoría de los casos, las líneas de investigación que la red de acción estratégica ha definido se encuentran vinculadas a las sólidas carreras académicas de los investigadores del CINI. Por ende, proyectos académicos personales deben ser, de alguna forma, acordes a proyectos académicos corporativos. Por ejemplo, tres de los líderes de áreas tecnológicas del CINI han hecho sus tesis de doctorado trabajando en proyectos de investigación a largo plazo (las temáticas centrales de estos proyectos de investigación personales fueron en todos los casos acordados con la empresa).

Esta fuerte convicción académica puede ser también rastreada en la autopercepción de los investigadores del CINI. A modo de ejemplo, dos investigadores del CINI se autodefinieron como *investigadores que no utilizan* software *enlatado.* Esta autopercepción da cuenta acabadamente de la política de I+D de Tenaris. Como señaló uno de estos dos investigadores,

"Y yo creo que ahí está el gran debate. Nosotros no hemos comprado enlatados ni acá ni en Fluidos y el gran debate es si vos vas a tener un centro de investigación con investigadores o con usuarios de enlatados. Es decir, pero, pero, ojo, yo fui al centro de investigación de [nombre de una empresa] que es una compañía de metal en Brasil y ahí ni sueñan con esto [con tener algo similar al CINI]. Ahí hay enlatados manejados por tipos que conocen mucho más de los resultados que quieren obtener que de la matemática que hay detrás de esos resultados. [Es] que no les interesa. Es una caja negra yo tiro datos y después... *Sí son buenos [los técnicos de la empresa brasilera] para decir [si] estos resultados que obtuve me sirven o no."*

Los desarrollos científico-tecnológicos que emprende el CINI se encuentran relacionados con la filosofía de *caja blanca* que profesa Tenaris y el Grupo Techint. Esto implica el ser capaz de comprender acabadamente a nivel corporativo la naturaleza de los desarrollos de ciencia y tecnología en los que se invierte. En una publicación de 1996 (González *et al*., 1996: 62) –en un fascículo especial dedicado a tecnología en el Grupo Techint– dirigida a altos directivos de Tecnología de Información un jefe de proyecto de automatización explica por qué otra empresa del Grupo (Siderar) rechazó ofertas de *software* enlatado y se abocó a emprender proyectos autónomos a largo plazo,

"Nuestra filosofía es la de la caja blanca, no la caja negra. Queremos quedarnos con la llave, conocer la tecnología que usamos y que nuestra gente vaya evolucionando con ella."

En la misma publicación, un alto ejecutivo de la corporación complementó (González *et al*., 1996: 64)

"Todos los días viene un MBA a explicarte que hay que tercerizar todo.

No soy un dinosaurio: el dominio de ciertas tecnologías explica gran parte del crecimiento del grupo".

Parte del esfuerzo corporativo para apropiarse de estas tecnologías yace en la gestión de las horas de trabajo que, en el CINI, se divide entre agendas de investigación personales y corporativas. A los investigadores del CINI se les permite trabajar una parte considerable de su jornada laboral (hasta un 80%) en agendas de investigación personales. Por lo tanto, la gestión de la caja blanca supone negociación constante. Como indicó un tomador de decisiones del CINI,

"Ahora, el tema de compatibilizar las agendas privadas; esto es una agenda privada nuestra. [...] Ahora hay dos temas: vos decís mirá, basta de agendas privadas. *Porque todo esto, si yo lo mido en dinero, esto cuesta tiempo mío, de él. Cuesta dinero. Esto no es gratis. Entonces si yo digo* basta de agendas privadas. *Y, bueno, tendremos un R&D con la gente que acepta eso. Bajará el nivel de R&D, seguramente. Algunos se van a ir o algunos nos vamos a...*

Es un tema complejo. Yo estoy seguro de que si yo mañana digo bueno, muchachos, se acabó el tema de las agendas privadas y ahora nos vamos a transformar en una empresa que va a medir mucho más ajustadamente los tiempos. *Como en Ingeniería, en Ingeniería vos todos los días que entrás, anotás en qué usaste tus ocho horas o diez horas por día. Lo anotás en una tarjeta. Si pasás a un control de ese tipo, yo creo que, de los que hay acá, un 20 / 30% se va ir. Entonces, decís* bueno, no va a ser el 20 /30 % de base; va a ser el 20 / 30% ya de investigadores formados..."

Estas agendas privadas incluyen –entre otros elementos– la asistencia a congresos y seminarios y un cronograma regular de publicaciones. De hecho, una baja proporción de los investigadores del CINI forman parte del CONICET. Por ende, aparte de las tareas comunes de empresa, las tareas de investigación de estos investigadores son evaluadas anualmente por esta entidad.

Segunda fuente de incertidumbre: ¿Llegarán los proyectos científico-tecnológicos a producir algún tipo de resultado? La mayor parte de desarrollos de ciencia y tecnología suponen un proceso confuso (Law, 2004) que, en casi todos los casos, son antagónicos a los estándares ordenados y medibles que promueve el mundo industrial. Por lo tanto, versiones sucesivas de simulaciones computacionales deben transformarse en caja negra para ser de alguna utilidad en las plantas industriales (cf. los intentos de Rudolf Diesel de volver caja negra su motor; Bryant, 1976; Latour, 1987). Por ejemplo, el modelado computacional del proceso Mannesmann –en su versión actual– puede simular la deformación plástica del material pero no el desgaste que sufre el herramental involucrado en el proceso. Cabe aclarar que la simulación de este proceso *aún no se encuentra terminada ni estabilizada.* El poder predecir el desgaste del *plug* perforador constituye precisamente un importante tema de agendas industriales y del negocio siderúrgico. La cantidad de *plugs* utilizados en el proceso de perforado *vis-à-vis* la cantidad de tubos semielaborados es una de las métricas más importantes por las que los ingenieros de planta abocados a este proceso son evaluados. En palabras de uno de los investigadores responsables de la simulación del proceso Mannesmann:

"En nuestro modelo [computacional] lo que tenemos mejor representado es la física de la deformación plástica que sufre el material pero, lo que está pasando, por ejemplo, a nivel tribológico, [es decir] lo que está pasando a nivel de las interfases [en la frontera de las celdas del método de elementos finitos]... Eso lo modelamos bastante crudamente, digamos, es un proceso bastante complicado y nosotros usamos un modelo muy sencillo en ese lado.

En el modelo las piezas no se desgastan. No tiene incluido un modelo de desgaste y si lo tuviera que incluir es un modelo bastante difícil, dificilísimo de hacer..."

A menudo, las simulaciones de este tipo ganan poder predictivo a medida que pasa el tiempo (a través de la conformación y estabilización progresiva de un *collage* o ensamblado de conocimiento; Law, 2004). Cada año los investigadores del CINI deben acordar los objetivos de sus agendas de investigación con los tomadores de decisiones de I+D. Por lo tanto, los desarrollos de I+D resultantes son la consecuencia de sucesivas fases de representaciones negociadas. Sin embargo, estas fases ordenadas de desarrollo de proyectos corporativos no se asemejan en nada a la naturaleza del trabajo en el ámbito de ciencia y tecnología. A este respecto, uno de los investigadores del CINI a cargo de la simulación del proceso de perforado hizo un importante comentario acerca de la naturaleza negociada e iterativa de representar un proceso industrial,

"Es ida y vuelta. Siempre tiene que ser ida y vuelta... No es algo planificado; va surgiendo de que, bueno, los primeros resultados [del modelo] que hacés, los comparás con la realidad y, bueno, de ese acuerdo... Uno dice, bueno, si las cosas dan igual ¿qué cosas hay que mejorar? ¿Qué hay que modelar mejor para que el resultado se parezca más [al proceso industrial]?"

Una simulación computacional es mejorada a través de un proceso de sucesivas asociaciones y sustituciones en donde distintas *aproximaciones de modelística*

–teóricas y empíricas– son incorporadas o desechadas. Estas aproximaciones de modelística abarcan, por ejemplo, desarrollos teóricos, resultados experimentales y testeos en piezas semielaboradas.[8] Cabe destacar que, a pesar del carácter ecléctico de este *collage* de conocimiento, un móvil-inmutable (Latour, 1990) debe ser construido estabilizando el ensamblado de estas aproximaciones de modelística. Para gestionar esta segunda fuente de incertidumbre, el ensamblado de aproximaciones de modelística *vis-à-vis* el anteriormente mencionado orden negociado de representación deberán poder arribar a un acuerdo. La mayor parte de los hitos académicos de la simulación del proceso Mannesmann puede ser encontrada en los artículos publicados por los investigadores del CINI (Dvorkin *et al.*, 1997; Cavaliere *et al.*, 2001; Berazategui *et al.*, 2006). La simulación de los investigadores del CINI evolucionó desde un modelo en dos dimensiones a uno en tres y utiliza un abordaje Euleriano que es innovador para el campo de estudio de deformación plástica de materiales en el marco de este proceso industrial.

Tercera fuente de incertidumbre: ¿Será posible implementar los proyectos basados en investigación científico-tecnológica? Los investigadores del CINI señalaron que la interacción con los usuarios potenciales (aquellos que esta simulación deberá configurar una vez estabilizada; Woolgar, 1991; Woolgar *et al.*, 1998) del modelo computacional del proceso de perforado ha evolucionado bastante desde los informes estándares tradicionales que frecuentemente dan cuenta de las etapas de desarrollo de ciencia y tecnología. El investigador previamente citado caracterizó acabadamente la interacción con los usuarios de planta,

"El input *que recibimos de ellos [los datos de la gente de planta para mejorar la simulación] es una configuración: planos de la máquina o de las herramientas que forman la máquina, datos de cómo se configura la máquina, posibilidades de configurarlo... Nosotros, de alguna manera, le armamos una planilla que resumía todos los datos, con algunos planos como para que ellos pudieran identificar los datos. Entonces, recibimos de ellos un paquete de datos que ya –más o menos– estandarizamos la forma de recibirlos. Recibimos también las propiedades del material, mediante los ensayos de torsión. Bueno, con estos datos corremos nuestro modelo [...] Después tuvimos que desarrollar también las herramientas de post-proceso que es para que genere gráficos. Nosotros lo que pretendemos darles a ellos como resultado son mapas de tensiones, de deformaciones, de velocidad de deformación de lo que le está pasando al material durante el proceso.*

Teniendo en cuenta que ese material viene de distintas aleaciones, viene con distintas propiedades entonces, bueno, si yo a diferentes materiales le aplico determinada deformación, bueno ¿con qué fuerzas reacciona ese material? Entonces nosotros lo que podemos es darles un mapa de qué es lo que le está pasando al material durante el proceso.

Ahora, el tema del formato informe, si bien seguimos haciendo informes, ya avanzamos un paso y les damos directamente un archivo de computación. Ellos tienen un programa que toma ese archivo y ellos ya pueden, por lo menos, jugar con los resultados.

Nosotros generalmente damos mapas, entonces ese mapa así como los mapas topográficos la variable que está graficada está graficada con una escala de colores, como se grafica en los mapas. Bueno, ellos pueden agarrar y decir, bueno, si a mí me interesa ver qué es lo que está pasando acá, densifico la escala para ver más acá o menos acá. Bueno, ese tipo de análisis ya lo pueden hacer ellos solos. La etapa del informe la pasamos, el informe ahora queda, más que todo, por un informe de gestión pero ya no como un informe de resultados técnicos."

[8] Fue tentador llamar *teorías* a estas líneas de investigación para simular un proceso. Los investigadores del CINI corrigieron este uso verbal en un par de ocasiones. Los investigadores llamaban *aproximaciones de modelística* a estas líneas de investigación. Estas aproximaciones combinan teoría (principalmente física), resultados experimentales (por ejemplo, tests en barras de acero semielaboradas), formas de modelado matemático o numérico (como el método de elementos finitos) y tests en un simulador experimental (una réplica a escala del simulador de planta). Todas estas aproximaciones de modelística contribuyen de alguna forma a fundamentar y mejorar la simulación de un proceso industrial. Los primeros desarrollos teóricos sobre el proceso de perforado datan de los años '20 y '30. Estas teorías tempranas, a su vez, fueron complementadas con tests experimentales utilizando tochos de cera un par de décadas más tarde. Contemporáneamente pueden encontrarse *a)* modelos en dos dimensiones del proceso Mannesmann (Mori *et al.*, 1998; Ceretti *et al.*, 2004), *b)* modelos en tres dimensiones mediante una vía de aproximación Lagrangiana (Pietsch y Thieven, 2003), *c)* modelos en tres dimensiones mediante una vía de aproximación Euleriana (el modelado de los investigadores del CINI) y *d)* un mix de los modelados en tres dimensiones Eulerianos y Lagrangianos (Yang et al., 2004). Además, otras teorías o desarrollos teóricos pueden llegar a complementar el desarrollo de estos modelos. Por ejemplo, los investigadores del CINI planifican incorporar la teoría del daño de Gurson para representar la formación del agujero inicial en el efecto Mannesmann (esta primera fisura constituye un axioma en la versión actual de la simulación de este proceso).

Este proceso de ida y vuelta de interacción que vincula a los investigadores del CINI y a los ingenieros de planta produce mapas (basados en datos de planta) que pueden llegar a ser utilizados para adentrarse en la caja negra del proceso Mannesmann. Cabe clarificar que por más que los ingenieros de planta reconocen el alto potencial de una simulación de este tipo, en la instancia actual de desarrollo, la simulación del proceso Mannesmann es todavía considerada como un proyecto que no ha sido terminado. Sólo una vez que haya sido estabilizado, podrá este proyecto de desarrollo ser incorporado a las rutinas de una industria continua. Actualmente, la adopción de membresía (Garfinkel, 1967) dentro de esta reciente comunidad de desempeño (Woolgar *et al.,* 1998) depende estrictamente de un ejercicio continuo de sintonía fina de la simulación del modelo de perforado.

Finalmente, la tecnología también juega un rol central en el flujo de interacción que vincula la planta industrial y los investigadores. A esta altura del desarrollo, la simulación del proceso Mannesmann incluye no menos de medio millón de grados de libertad (léase variables matemáticas a ser resueltas de forma aproximada). Para incrementar el desempeño de la interacción investigador-ingeniero un nuevo equipo fue adquirido para acelerar la velocidad de obtención de resultados del modelo. Previo a la compra de este equipo, tomaba casi una semana producir resultados del modelo que pudiesen ser de utilidad para los ingenieros de planta.

Este segundo pasaje –entre las redes de acción científico-tecnológica e industrial– estipula que *un logro relevante en el campo de ciencia y tecnología* (un avance de importancia en un campo de conocimiento) *no supone necesariamente un gran logro industrial y viceversa.* Por ejemplo, una reducción en la cantidad de descartes de tubos en las plantas de Tenaris puede no llegar a ser consecuencia directa de los logros académicos que suponen la construcción y el ensamblado de la simulación del proceso Mannesmann.

La red de acción industrial

De acuerdo con un tomador de decisiones del CINI, una vez que los investigadores han estabilizado sus desarrollos, los implementadores industriales toman el control del proceso de transferencia de conocimiento hacia las plantas industriales. Como la simulación del proceso Mannesmann no ha sido terminada aún, este proyecto de I+D no ha llegado a esta última fase de implementación. A pesar de esta circunstancia, sería bueno aclarar unos cuantos aspectos de las rutinas de una industria continua para poder comprender más acabadamente este proceso final de transferencia. A menudo, la implementación de desarrollos de ciencia y tecnología supone la mutua modificación de desarrollos y rutinas –cf. la *reparación* de software ERP para su implementación (Wagner y Newell, 2006) y los *móviles mutables* (Mol y Law, 1994). Aparte de una dosis considerable de interacción respetuosa (Weick y Sutcliffe, 2001) este tipo de implementaciones demandan tiempo, recursos y cambios estructurales.

Primero y principal, los ingenieros de planta pueden llegar a ser los primeros promotores de un proyecto de I+D. Sin embargo, en la mayor parte de los casos, las demandas de planta dan lugar a proyectos de *trouble-shooting* (proyectos focalizados y de corto plazo) que, por lo general, los investigadores del CINI no encuentran atractivos en términos científico-tecnológicos. Uno de los investigadores del CINI involucrados en la simulación del proceso Mannesmann detalló cómo es su manera particular de procesar las demandas de planta,

"Y si mañana quiero [...] agregarle el efecto de la capita de óxido que se forma afuera, se lo agrego. Entonces, todo eso es muy tensionante en cuanto a relaciones intraindustriales. Es decir, primero hay que estar convencido que lo que uno hace está bien. Pero [...] [a] los científicos, en general, lo que nos sobra es convencimiento [Risas]"

En vigor del comentario, pacería evidente que la capita de óxido (esto es, la demanda de planta) no representa un desafío científico-tecnológico de peso para los investigadores del CINI. Su fuerte convicción en el trabajo académico –unido a la infraestructura de pensamiento de la simulación (el modelo físico de la cita)– les permite a los investigadores procesar, de alguna forma, este tipo de demandas menores a un proyecto a largo plazo. Un joven investigador del CINI de otra área dio cuenta clara que la innovación propiamente dicha sólo puede provenir de proyectos a largo plazo. Las demandas de planta a corto plazo (los proyectos *trouble-shooting*) que, por lo general, requieren atención inmediata a menudo generan un tipo de relación espurea que no logra llegar a satisfacer ni los intereses de los investigadores ni los de los ingenieros de planta,

"[Hablando de proyectos trouble-shooting*] Eh, el tipo de problemática que estudian son problemas muy específicos que tienen que ver con... Y que es, hasta te diría, es doloroso trabajar bajo ese régimen solamente. Porque estás pensando en el hoy; las prioridades cambian minuto a minuto porque lo que era un problema hace cinco minutos dejó de serlo en cinco minutos más. Y mientras se soluciona el problema –aunque no se comprenda por qué y demás– todo está bien. Si no se soluciona todo está mal. [...] Es muy esquizofrénico."*

La mayor parte de las demandas de planta son a un mismo tiempo no planificadas y extrañas al pensamiento científico. Estos requerimientos pueden llegar a alterar constantemente las prioridades de las agendas de investigación. Por ende, los investigadores del CINI deben no sólo especializarse en un campo de conocimiento determinado sino que además deben aprender a gestionar las relaciones intraindustriales de una industria continua con niveles cambiantes de expectativas y demandas. Es esto parte sustancial del orden científico-tecnológico que debe ser constantemente negociado y renegociado.[9]

[9] Formando parte de este orden negociado, uno de los investigadores del CINI señaló que muchas veces le resultaba muy difícil transmitirle a los ingenieros de planta sus preocupaciones e intereses científicos. En la planta industrial hay muchos procesos industriales que *funcionan* (tecnológicamente hablando) a pesar de que nadie sabe a ciencia cierta por qué. Este investigador encontraba muy difícil problematizar una determinada temática que nadie consideraba particularmente problemática.

Dentro de la caja negra de producción de conocimiento

La Triple Incertidumbre (TI) asume una idea de producción de innovación en red (Swan y Scarbrough, 2005) y un concepto de conocimiento relacional (Scarbrough, 1996). En contraposición a la mayor parte de las escuelas reseñadas en la primera parte de este artículo, la TI enfatiza la importancia de un proceso de atención colectiva (Weick y Roberts, 2001) y cognición distribuida (Hutchins, 1995) para mejor comprender el sinuoso camino que conduce a la innovación científico-tecnológica y la producción de conocimiento. Siguiendo estas perspectivas, el conocer –que no puede ser reducido a un proceso mental (Peirce, 1932, 1933; Ryle, 1949; Tarde, 1969; Wittgenstein, 1953)– supone una acción conjunta que produce representaciones coordinadas (Cooren, 2004). Por lo tanto, el conocimiento requerido para fomentar la emergencia de capacidades dinámicas no puede ser encontrado dentro de las redes de acción estratégica, científico-tecnológica o industrial (adoptando, de esta forma, una idea de conocimiento *qua* contenido; Nonaka y Takeuchi, 1995). La TI, de hecho, permite monitorear procesos de producción de conocimiento *siguiendo* la circulación de proyectos de I+D a través de estas tres redes de acción. De esta manera, la producción de conocimiento supone una combinación de conocimientos del negocio, científico-tecnológicos, e industriales.

Por ende, el proceso cognitivo no necesita ser entendido como un proceso compartido –véanse, por ejemplo, las teleologías épicas tradicionales del pensamiento de gestión como el "tubo de acero del año 2020" *qua* profecía colectiva autocumplida. A diferencia de este enfoque, el proceso cognitivo puede llegar a entenderse también como un proceso descentrado y distribuido (Cooren, 2004). Bajo esta óptica no hay ya imperativos del negocio que determinen el resultado del desarrollo de ciencia y tecnología. De esta manera, la gestión de I+D demanda un entendimiento pormenorizado de las interdependencias entre las tres redes de acción y las fuentes de incertidumbre que son parte constitutiva e ineludible de los proyectos de desarrollo. La TI presenta un orden rizómico, negociado e inestable que no puede llegar a ser estabilizado a través de imperativos de mercado o mecanismos de control jerárquico (Hardy *et al*., 2003). Carreras académicas, mejoras a procesos industriales y medidas de desempeño, nuevos productos, y las capacidades dinámicas son todos producidos de manera relativamente coordinada dado que todos estos elementos se encuentran conectados al mismo rizoma (Seijo, 2005).

La TI da cuenta de que la gestión de I+D debe considerar *a)* interdependencias académicas y de proceso ocultas entre proyectos de desarrollo, *b)* las contribuciones heterogéneas y difícilmente mensurables de estos proyectos, *c)* las trayectorias de desarrollo inciertas y no lineales de estos proyectos, *d)* la frontera difusa que separa el éxito y el fracaso en I+D, *e)* la coordinación de tres redes de acción, y *f)* la coexistencia de conocimiento científico-tecnologico *vis-á-vis* otros tipos de conocimiento (industrial y de negocio). La mayor parte de estas consideraciones parecen sugerir que una distancia insoslayable separa la producción de conocimiento científico-tecnológico y la emergencia de capacidades corporativas dinámicas. A pesar de todo esto, es más que conveniente asumir transitar este camino.

Bibliografía

Ackoff, R. (1976) *Un Concepto de Planeación de Empresas.* México DF: Limusa.

Alvesson, M., y Skoldberg, K. (2000) *Reflexive Methodology. New Vistas for Qualitative Research.* London: Sage

Artopoulos, A. (2006) *Caso Tenaris: Una corporación global del sur,* working paper Universidad de San Andrés. Victoria, Provincia de Buenos Aires, Argentina http://www.udesa.edu.ar/files/UAAdministracion/Documentos%20de%20Trabajo/59.PDF (Fecha de Acceso: 9 de Enero de 2007).

Beer, S. (1995) *Brain of the Firm.* New York, NY: John Wiley & Sons.

Berazategui, D.A., Cavaliere, M.A., Montelatici, L., y Dvorkin, E.N. (2006) *On the modelling of complex 3D bulk metal forming process via the pseudo-concentrations technique. Application to the simulation of the Mannesmann piercing process,* International Journal for Numerical Methods in Engineering 65: 1113-44.

Bourdieu, P. (1999) *Understanding* en P. Bourdieu (ed.) The weight of the world. Cambridge: Polity Press.

Brown, J.S., y Duguid, P. (2001) *La Vida Social de la Información.* Buenos Aires: Prentice Hall (Pearson Educación).

Brown, S.L. y Eisenhardt K.M. (1995) *Product Development: Past Research, Present Findings and Future Directions,* Academy of Management Review 4 (2): 343-78.

Bryant, L. (1976) *The Development of the Diesel Engine,* Technology and Culture 17 (3): 432-46.

Burgelman, R.A., Maidique, M.A., y Wheelwright, S.C. (1996) *Strategic Management of Technology and Innovation.* Boston, MA: Irwin McGraw-Hill.

Bush, V. (1945/1999) *Ciencia, la frontera sin fin. Un informe al presidente, julio de 1945* Revista Redes (Universidad de Quilmes) VI (14): 89-156.

Callon, M. (1981) *Struggles and Negotiations to Define What Is Problematic and What Is Not* en K.D. Knorr, R. Krohn and R. Whitley (eds) The social process of scientific investigation. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company.

Callon, M. (1986) *Some elements of a sociology of translation: domestication of the scallops and the fishermen of St Brieuc Bay* en J. Law (ed) Power, action and belief. A new sociology of knowledge? London: Routledge & Keegan Paul

Cavaliere, M.A., Goldschmit, M.B., and Dvorkin, E.N. (2001) *Finite element analysis of steel rolling process,* Computers and Structures 79: 2075-89.

Ceretti, E., Giardini, C., y Brisotto, F. (2004) *2D simulation and validation of rotary tube piercing* en S. Gosh, J.C. Castro y J.K. Lee (eds) Material processing and design modelling simulation and applications. Numiform 2004. American Institute of Physics.

Cooren, F. (2004) *The communicative achievement of collective minding. Analysis of board meeting excerpts,* Management Communication Quarterly 17 (4): 517-51.

Czarniawska, B. (1997) *Narrating the Organization.* London: The University of Chicago Press.

Czarniawska, B. (1998) *A Narrative Approach to Organization Studies.* Qualitative Research Methods Volume 43. Thousand Oaks, California: Sage.

Czarniawska, B. (2004) *On Time, Space, and Action Nets,* Organization 11 (6): 773-91.

Deleuze, G. y Guattari, F. (1988) *A thousand plateaus. Capitalism and Schizophrenia.* London: The Athlone Press.

Dosi, G., Llerena, P. y Labini M.S. (2005) *Evaluating and comparing the innovation performance of the United Sates and the European Union,* expert report for the Trend-Chart Policy Workshop.

Dvorkin E.N., Goldschmit, M.B., Cavaliere, M.A., Amenta, P.M., Marini, O., y Stroppiana, W. (1997) *2D finite element parametric studies on flat-rolling process,* Journal of Materials Processing Technology 68: 99-107.

Eco, U. (1987) *Apostillas a El nombre de la rosa.* Buenos Aires: Editorial Lumen / Ediciones de la Flor.

Eisenhardt, K.M. and Martin J.A. (2000) *Dynamic capabilities: What are they?,* Strategic Management Journal 21 (10/11): 1105-21.

Etzkowitz, H. and Leydesdorff L. (2000) *The dynamics of innovation: from National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of university-industry-government relations,* Research Policy 29: 109-23.

Garfinkel, H. (1967) *Studies in Ethnomethodology.* Cambridge: Polity Press.

Glasser, B.G. y Strauss, A.L. (1967) *The discovery of grounded-theory: Strategies for qualitative research.* New York, NY: Aldine

Godin, B. (2006) *The Linear Model of Innovation: The Historical Construction of an Analytical Framework,* Science, Technology & Human Values 31 (6): 639-67.

González, L.A., Argañaras, M., y Beltrán, R. (1996) *Techint,* Information Technology (Argentina) 8: 52-66.

Grant, D., Hardy, C., Oswick, C. y Putnam, L.L. (eds.) (2004) *The Sage handbook of organizational discourse.* London: Sage.

Griffin, A. y Page, A.L. (1996) *PDMA success measurement project: Recommended measures for product development success and failure,* Journal of Product Innovation Management 13 (6): 478-96.

Hardy, C., Phillips, N. y Lawrence. T.B. (2003) *Resources, knowledge and influence: The organizational effects of interorganizational collaboration,* Journal of Management Studies 40 (2): 321-47.

Hutchins, E. (1995) *Cognition in the wild.* Cambridge, MA: The MIT Press.

Jovchelovitch, S. y Bauer, M. (2000) *Narrative interviewing* en M. Bauer and G. Gaskell (eds.), Qualitative researching with text, image and sound. A practical handbook. London: Sage.

Latour, B. (1987) *Science in action.* Milton Keynes: Open University Press.

Latour, B. (1990) *Drawing things together,* en M. Lynch y S. Woolgar (eds.) Representation in Scientific Practice. Cambridge, MA: MIT Press.

Latour, B. (1991) *Technology is Society Made Durable* en J. Law (ed) A Sociology of Monsters. London: Routledge.

Latour, B. (2005) *Reassembling the Social. An Introduction to Actor-Network-Theory.* New York, NY: Oxford University Press.

Law, J. (1986) *On methods of long-distance control: vessels, navigation and the Portuguese route to India* en J. Law (ed.) Power, action and belief. A new sociology of knowledge? London: Routledge & Kegan Paul.

Law, J. (2004) *After Method. Mess in Social Science Research.* London: Routledge (Taylor & Francis Group).

Mallick, D.N. y Schroeder, R.G. (2005) *An integrated framework for measuring product development performance in high technology industries,* Production and Operations Management 14 (2): 142-58.

Mendelson, H. y Pillai, R.R. (1999) *Industry clockspeed: Measurement and operational implications,* Manufacturing and Service Operations Management 1 (1): 1-20.

Mol, A. (2002) *The Body Multiple. Ontology in Medical Practice.* Durham: Duke University Press.

Mol, A. y Law, J. (1994) *Regions, Networks and Fluids: Anaemia and Social Topology,* Social Studies of Science 24 (4): 641-71.

Mori, K., Yoshimura, H., y Osakada, K. (1998) *Simplified three-dimensional simulation of rotary piercing of seamless pipe by rigid-plastic finite-element method,* Journal of Materials Processing Technology 80-81: 700-06.

Nonaka, I. and Takeuchi, H. (1995) *The knowledge-creating company. How Japanese companies create the dynamics of innovation.* New York, NY: Oxford University Press.

Peirce, C.S. (1932) *Collected papers: Vol. 2. Elements of logic.* Cambridge, MA: Harvard University Press.

Peirce, C.S. (1933) *Collected papers: Vol. 3. Exact logic.* Cambridge, MA: Harvard University Press.

Pietsch, J. y Thieven, P. (2003) *FEM simulation of the rotary tube piercing process.* MPT International 2: 52-60.

Piore, M.J. (1995) *Beyond individualism.* Boston, MA: Harvard University Press.

Pisano, G. (2006) *Science Business. The Promise, the Reality and the Future of Biotech.* Boston; MA: Harvard Business School Press.

Polanyi, M. (1969) *Knowing and being* in M. Grene (ed) Knowing and Being. Essays. London: Routledge and Kegan Paul.

Ryle, G. (1949) *The concept of mind.* London: Hutchinson.

Scarbrough, H. (1996) (ed) *The Management of Expertise.* Oxford: Blackwell.

Seijo, G. (2005) *Rhizomes for understanding the production of social science.* Organization Management Journal 2 (3): 183-200.

Serres, M. (1991) *El Paso del Noroeste.* Hermes V. Madrid: Editorial Debate.

Silverman, D. (1993) *Interpreting Qualitative Data: Methods for Analysing Talk, Text and Interaction.* London: Sage.

Strauss, A.L. (1987) *Qualitative analysis for social scientists.* Cambridge: Cambridge University Press.

Swan, J. y Scarbrough, H. (2005) *The politics of networked innovation,* Human Relations 58 (7): 913-43.

Tarde, G. (1969) *On communication and social influence: Selected papers.* Chicago: University of Chicago Press.

Teece, D.J., Pisano, G. y Shuen, A. (1997) *Dynamic capabilities and strategic management,* Strategic Management Journal 18 (7): 509-33.

Tsoukas, H. (1996) *The firm as a distributed knowledge system: A constructionist approach,* Strategic Management Journal 17 (Winter Special Issue): 11-25.

Urban, G.L. y Hauser, J.R. (1980) *Design and marketing of new products.* Englewood Cliffs: Prentice Hall.

Von Foerster, H. (1984) *On constructing a reality* in P. Watzlawick (ed.) The invented reality. New York, NY: W.W. Norton & Co.

Von Hippel, E. (1978) *Users as innovators,* Technology Review (Jan): 3-11.

Von Hippel, E. (1985) *Learning from lead users* in R.D. Buzzell (ed.) Marketing in an Electronic Age. Boston, MA: Harvard Business School Press.

Wagner, E.L. y Newell, S. (2006) *Repairing ERP. Producing social order to create a working information system,* The Journal of Applied Behavioral Science 42 (1): 40-57.

Weick, K.E. (1995) *Sensemaking in Organisations.* Thousand Oaks, London: Sage Publications.

Weick, K.E., and Roberts, K.H. (2001) *Collective mind in organizations: Heedful interrelating on flight decks?* en K.E. Weick (ed.) Making sense of the organization. Oxford: Blackwell Publishing.

Weick, K.E. y Sutcliffe K.M. (2001) *Managing the Unexpected. Assuring High Performance in an Age of Complexity.* San Francisco, CA: Jossey-Bass.

Wheelwright, S.C. y Clark, K.B. (1992a) *Creating project plans to focus product development,* Harvard Business Review March-April: 70-82 (Reprint: 92210).

Wheelwight, S.C. y Clark, K.B (1992b) *Revolutionizing Product Development. Quantum Leaps in Speed, Efficiency, and Quality.* New York, NY: The Free Press.

Wittgenstein, L. (1953) *Philosophical Investigations.* Oxford: Blackwell.

Woolgar, S. (1991) *Configuring the User. The Case of Usability Trials* en J. Law (ed) A Sociology of Monsters. London: Routledge.

Woolgar, S., Vaux J., Gomes, P., Ezingeard, J.N., y Grieve R. (1998) *Abilities and Competences Required, Particularly by Small Firms, To Identify and Acquire New Technology,* Technovation 18 (8/9): 575-84.

Yang, J., Li, G., Wu, W.T., Sawamiphakdi K., y Daqing, J. (2004) *Process modelling for rotary tube piercing application* paper presented at the MS&T 2004 Conference: 137-46.

Zirger, B.J. y Maidique, M.A. (1990) *A Model of New Product Development: An Empirical Test,* Management Science 36 (7): 867:83.

Zollo, M. y Winter, S. (2002) *Deliberate learning and the evolution of dynamic capabilities,* Organization Science 13 (May-June): 339-51.