

## ***Capítulo 1. Introducción***



# 1. INTRODUCCION

Las empresas necesitan innovar. Saben que sin innovar no podrán llegar a tener éxito en el mercado. Buscan en qué, dónde y cómo innovar. Miran a sus competidores. Intentan establecer métodos eficaces para gestionar la innovación. Las empresas muestran un gran interés en la innovación, y, prueba de ello, son las enormes cantidades de dinero dedicadas a la innovación en los departamentos constitutivos de la empresa, en particular en los de Proyectos, generalmente denominados de **I+D**, y desde hace unos años con apellidos, los conocidos **I+D+i**.

“La globalización e intensificación de la competencia, el avance tecnológico, el aumento de las exigencias de los consumidores y los cambios en los modelos de legislación son algunos de los factores que están haciendo del cambio un imperativo del actual nivel de competitividad”  
(COTEC, 2001)

Los gobiernos están gastando mucho dinero en Innovación. En España desde 1986 existe un **Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (PN de I+D+i)**, marcando objetivos en I+D para períodos plurianuales.

Las universidades y centros de formación incluyen la innovación en sus planes de estudio. Existe un número importante de fundaciones, centros para la innovación, planes estratégicos, institutos, comisiones, congresos, seminarios, foros, ... Como ejemplo, una búsqueda en Internet con la palabra **‘innovación’**, realizada el 9/8/04, obtuvo 593.000 direcciones. Al limitar la búsqueda en Internet asociando diferentes palabras con **‘innovación’** se obtuvo la tabla 1.1. En esta tabla los tantos por ciento están calculados respecto al valor de **‘innovación’** solamente.

El elevado índice de recursos que se dedican a I+D, en ciencia y tecnología en general, en los países avanzados, que oscila entre el 1,5% y el 3% del PIB, muestra la necesidad de evaluar la eficiencia de la gestión de estos recursos y de los resultados que se obtienen. (COTEC, 2001)

Asociación	Cantidad	%
"Innovación"	593.000	
<b>"Innovación" + "Producto"</b>	152.000	25,6 %
"Innovación" + "Mercado"	211.000	35,6 %
"Innovación" + "Producto" + "Mercado"	102.000	17,2 %
<b>"Innovación" - "Producto" - "Mercado"</b>	491.000	82,8 %
"Innovación" + "Agraria"	35.600	6 %
"Innovación" + "Enseñanza"	124.000	20,9 %
"Innovación" + "Universidad"	212.000	35,7 %
"Innovación" + "Ciencia"	210.000	35,4 %
"Innovación" + "Tecnología"	330.000	55,6 %
"Innovación" + "Sociedad"	239.000	40,3 %
"Innovación" + "Organización"	218.000	36,8 %
"Innovación" + "Economía"	221.000	37,2 %
"Innovación" + "I+D"	67.000	11,2 %
"Innovación" + "Psicología"	40.000	6,7 %
"Innovación" + "Patentes"	43.600	7,3 %
"Innovación" + "Finanzas"	81.700	13,7 %
"Innovación" + "Empresa"	253.000	42,7 %
"Innovación" + "Salud"	183.000	30,8 %
"Innovación" + "Medicina"	61.500	10,4 %
"Innovación" + "Riqueza"	57.100	9,6 %
"Innovación" + "Paz"	71.500	12,0 %
"Innovación" + "Creatividad"	74.600	12,6 %
"Innovación" + "Política"	230.000	38,8 %
"Innovación" + "Servicios"	354.000	59,7 %
"Innovación" + "Azar"	12.300	2,1 %
"Innovación" + "Complejidad"	54.000	9 %
"Innovación" + "Intuición"	7.180	1,2 %
"Innovación" + "Emoción"	8.200	1,4 %
"Innovación" + "Juego"	70.200	11,8 %
"Innovación" + "Juego" + "Azar"	4.810	0,8 %
"Innovación" + "Juego" + "Azar" + "Emoción"	412	0,07 %

**Tabla 1.1.1-1. Combinaciones obtenidas por Internet**

La innovación puede considerarse que es un sistema complejo pues, como sistema, está constituido por diferentes subsistemas cada uno con niveles organizativos y complejidades diferentes. Un sistema complejo se caracteriza por tener muchas variables con gran número de interacciones entre ellas. La complejidad conlleva una gran dificultad de computación que dificulta la predicción de la evolución del sistema. Las teorías del caos y de la complejidad indican que, adicionalmente, en los sistemas complejos se encuentra un cierto grado de aleatoriedad en su comportamiento. Su futuro está envuelto de un halo de incertidumbre. Parece que todos los sistemas complejos son altamente impredecibles e indeterminados. Estos fenómenos ya se encuentran en los sistemas vivos. En ellos parece que estos fenómenos son algunos de los que permiten la aparición de nuevas propiedades, tales como la autoorganización. Esta emergencia de nuevas propiedades, junto con la indeterminación, incertidumbre y aleatoriedad asociadas a la complejidad, también se encuentran en la innovación. Quizá valen como pruebas de ello los reajustes económicos, políticos, sociales y humanos consecuencia de las innovaciones, así como las grandes cuestiones relacionadas con ellas.

Puede considerarse que otra prueba de esta indeterminación es la gran importancia dada actualmente a los efectos de las innovaciones sobre la naturaleza. Estos “*efectos secundarios*” son difíciles de analizar y, la mayor parte de las veces, impredecibles a largo plazo. Por otro lado, en los planteamientos actuales sobre la interacción entre Ciencia, Tecnología y Sociedad, se plantea si todo cambio tecnológico debe considerarse bueno. ¿Son todos los avances biotecnológicos beneficiosos? Aparecen cuestiones éticas sobre temas como las alteraciones genéticas, pruebas con embriones... Otra posible prueba de la indeterminación es la cuestión sobre la actual elevada fe en el progreso. Nunca anteriormente se había tenido una fe tan ciega como la actual en creer que el progreso no tiene fin. Otra posible prueba es la cuestión sobre el cada vez mayor sentido consumista de la sociedad. Parece que los productos “viejos” deben desaparecer lo antes posible. Se suele considerar que lo viejo no tiene valor. Está imperando “el cambio por el cambio”. ¿Tiene dirección o sentido este “cambio”? Esta búsqueda de lo nuevo, asociada a un rechazo a lo viejo, no deja de llevar implícita una insatisfacción constante. Se vislumbra una aparente búsqueda de “tener” que deja en parte de lado al “ser”. La gran producción de novedad hace que algunas personas se pregunten: ¿Realmente, hace falta todo lo “nuevo” a la sociedad y al individuo? ¿Esta gran “producción de productos” no está dejando de lado la “producción de humanidad”?

Todas estas preguntas y muchas parecen ser una muestra de la incertidumbre asociada con la innovación y su búsqueda. En este contexto puede quizás afirmarse que la innovación, y sus incertidumbres asociadas, tiene una incidencia tal en la sociedad que supera a los inmediatos resultados económicos o productivos. Las personas generan la necesidad de nuevos productos, los inventan, los fabrican, los consumen, se enriquecen, se empeñan, sufren sus efectos... Algunos incluso se cuestionan si todo esto tiene algún sentido o si simplemente debe ser así.

“De igual manera se prima lo nuevo, y no lo eficaz, o lo que sirva para satisfacer necesidades, creándose necesidades por medio del arte supremo de nuestros tiempos: la publicidad (...) Esto explica, junto con la importancia de las cualidades de ser vendible, distintas de utilidad o eficacia, la curiosa asignación de recursos a la innovación, tales como a productos frívolos – hierbas de plástico, productos contra la obesidad o para la mejora de la potencia sexual y un larguísimo etcétera – que atrae recursos más allá de los que se asignan a la mejora del tráfico público, de viviendas más confortables y baratas o de la mejora de la salud pública y el respeto a parques y medio ambiente” (TOBAR, 1987)

“Actualmente se detectan síntomas de una nueva crisis. El ritmo de vida se ha acelerado notablemente, la transitoriedad se impone delante de la permanencia; las relaciones pierden intensidad y duración pero se multiplican, dos aspectos interrelacionados; la sociedad de consumo nos impone el cambio continuo, de productos, ideas, costumbres, modas, conocimientos, sin olvidar que la ciencia y la tecnología revolucionan el mundo en el que vivimos ofreciéndonos por una parte un paraíso y por la otra un infierno. Los valores tradicionales se tambalean y como consecuencia la sociedad en general está desorientada. A la muerte de Dios puede seguir la muerte del hombre (...) Es la crisis del cambio continuo y acelerado. El interrogante a plantear es si acaso: ¿hasta que punto puede aguantar el hombre esta aceleración? De momento lo que nos atañe es aprender a vivir el cambio continuo”. (RIERA i TUÉBOLS, 1994)

Dejando de lado cuestiones más o menos trascendentales, está claro que la innovación en general ha sido uno de los temas clave de la sociedad de finales del siglo XX y de inicios del presente siglo XXI. Esta búsqueda de la innovación afecta a todas las áreas de la sociedad: la tecnológica, la industrial, la artística, la social, la filosófica, la ética, la moral, la religiosa, la mística..., en resumen, la humana en general.

La innovación es una actividad protagonizada principalmente por la empresa. Ésta es el elemento catalizador del cambio; pero la empresa no innova en solitario, sino formando parte de un conjunto de relaciones que constituyen todo el *sistema de innovación*. (COTEC, 2001)

La innovación no es un tema fácil. Si así fuera, no tendría ningún encanto el innovar. Tampoco aportaría una ventaja sobre aquellos que la persiguen. Muchos investigadores dedican gran parte de su tiempo y recursos a aportar alguna luz sobre el tema. En los últimos años han aparecido gran número de estudios, revistas y libros orientados a saciar esta demanda. En la innovación, afectada por multitud de variables, toma un papel primordial la interacción entre sus partes. Esto sugiere primar una visión holista más que la atomista. Parece necesario, por lo tanto, además de encontrar dentro del proceso de innovación algunas variables significativas poder ver como interaccionan entre ellas. Dentro del complejo sistema de innovación, el subsistema empresa tiene un papel fundamental. Así, desde un punto de vista empresarial, en cualquier *Proceso de Innovación*, no sólo es importante definir sus etapas sino, sobretodo, las interacciones, ya sean interiores, con otros departamentos, o exteriores, tales como con el cliente y con otros sectores económicos, sociales y políticos.

“El proceso de innovación tecnológica se define como el conjunto de las etapas técnicas, industriales y comerciales que conducen al lanzamiento con éxito en el mercado de nuevos productos manufacturados, o a la utilización comercial de nuevos procesos técnicos. De acuerdo con esta definición, las funciones que configuran el proceso de innovación son múltiples y constituyen la fuerza motriz que impulsa a las empresas hacia objetivos a largo plazo, conduciendo a nivel macroeconómico a la renovación de las estructuras industriales y a la aparición de nuevos sectores de actividad económica” (PAVÓN, 1997)

“Aunque la innovación y su tipología han sido ampliamente estudiadas, dos aspectos han sido los comúnmente mencionados en su definición – novedad y aplicación –. De este modo, una invención o idea creativa no se convierte en innovación hasta que no se utiliza para cubrir una necesidad concreta. Esta aplicación de la idea supone un proceso de cambio que podríamos considerar microeconómico”. (COTEC, 2001)

Según diferentes autores se pueden distinguir tres momentos o estados fundamentales en todo proceso de cambio: La invención, la innovación o explotación técnica y la difusión o explotación comercial. (ROBERTS, 1995; COTEC, 2001; PAVON, 1997)

Tal como se observa en la bibliografía existente sobre la metodología del **Proceso de Innovación**, en cada una de las fases de este proceso se utilizan diferentes métodos o técnicas. De todas ellas, hay una que es considerada de necesaria aplicación en todas las fases: la **Creatividad**.

Dentro del **Proceso de Innovación** existe una fase primaria en la cual lo importante es generar el máximo de ideas potencialmente innovadoras. Una innovación no deja de ser una buena idea llevada a la práctica y para tener una buena idea se deben de haber generado muchas. No parece práctico considerar que cualquier idea es innovadora. Las ideas son como los espermatozoides: se deben generar millones para que uno alcance la meta. Como en la evolución, en la innovación se requiere gran producción de novedad y selección posterior. Esta fase generadora de ideas es por lo tanto de importancia capital para el proceso de innovación. Deben de encontrarse métodos que sean altamente productores de “embriones” de ideas. Sin una productiva generación de ideas no es posible aplicar una selección posterior con lo que se reduce considerablemente la posibilidad de innovación. En la presente tesis a esta fase primaria generadora de ideas se la denomina de dos maneras: **Fase de Generación de Ideas** o **Fase creativa**. Dentro de la complejidad del sistema de innovación, en general, y dentro del proceso de innovación, en particular, se observa que la semilla de la innovación se encuentra en disponer de un sistema que potencie la generación de ideas. No se puede menospreciar la importancia del resto de fases del proceso de innovación pero tampoco se puede ignorar la gran importancia que tiene la fase de generación de ideas. (LLOVERAS et al., 2004)

La bibliografía existente sobre la innovación parece que cuando describe el **Proceso** de cómo innovar deja un poco de lado la **Fase de Generación de Ideas**. Los temas tratados por aquella, van más orientados a la política, gestión, dirección, aplicación de recursos y financiación de la innovación. Dentro del **Proceso de Innovación**, los capítulos dedicados a la generación de ideas y a las posibles metodologías aplicables para la obtención de nuevas ideas son relativamente reducidos (prácticamente nulos). Al llegar a estos capítulos los autores suelen emplear un comodín: la **creatividad**. Suelen indicar que potenciando la creatividad se conseguirán obtener nuevas ideas.

No indican como se puede potenciar la creatividad en la fase embrionaria de la generación de ideas. Se acostumbra a creer que cualquiera “sabe” que significa “*creatividad*”, y que, por lo tanto, *no hace falta explicarla, enseñarla, ejercitarla, ponerla en práctica, indicar como potenciarla...* Esta deficiencia es, en parte, lógica. No se puede tratar un tema tan complejo en un capítulo de una obra dedicada a la innovación. Así pues, se esquiva el tema, ya sea, por suponer que la idea intuitiva de que es la creatividad ya suficiente, o bien, se deja que el lector profundice en la amplia bibliografía existente sobre la creatividad.

La cuestión es: ¿esta idea intuitiva de creatividad es la misma para todos? ¿Es suficiente? ¿Se tienen los mecanismos adecuados dentro de la empresa para aplicarla y potenciarla? ¿Puede ser innovadora una empresa presuponiendo que este concepto intuitivo ya está suficientemente claro para todos sus empleados?

Parece lógico pensar que la respuesta es negativa. Así, si la idea intuitiva sobre la que se basa la bibliografía sobre la innovación no es del todo suficiente, ¿qué sucede cuando se busca dentro de la bibliografía sobre la creatividad? De entrada, se encuentra que existen muchas definiciones. Da la impresión de que “*creatividad*” es una palabra en la que todo cabe. El Dr. Carlos Monreal, en su interesante libro *¿Qué es la creatividad?*, contesta a la pregunta propuesta en el título de su libro:

“Esta pregunta puede resultar inquietante en un libro sobre creatividad, porque va a descubrirnos un problema de base, fuerte y hoy por hoy sin solución acordada. No está resuelto aún qué es lo que debe considerarse objetivamente como creativo: lo cual equivale a decir que no sabemos aún qué es en realidad lo creativo. Es más, alguno llega a dudar de su existencia. (...) Nuestra tarea, como científicos, es por lo tanto, admitir el hecho de la existencia de la creatividad y tratar de clarificar qué es y cómo se produce”. (MONREAL, 2000)

Hay que agradecer la sinceridad expresada por éste psicólogo, y, además, filósofo, el exponer estas dudas referentes a la creatividad con tanta nitidez.

Un sistema de gestión de la innovación, donde una fase clave es la generación de ideas, no parece que pueda sostenerse si pone únicamente la premisa: “*aplíquese la creatividad cuando haga falta*”. Como, aparentemente, la idea intuitiva se queda corta y la literatura existente sobre la creatividad es tan amplia, los ingenieros que deben de poder generar ideas se encuentran realmente algo desamparados.

Hasta hace relativamente pocos años incluso la misma ingeniería había dejado de lado enseñar la creatividad. La Ingeniería, como enseñanza, está empezando a intentar transmitir a sus estudiantes formas de facilitar la generación de ideas. Por otro lado, donde parece que la ingeniería todavía ha hecho menos que enseñar la creatividad es en investigar sobre ella. Seguramente porque consideraba que éste era un objetivo propio de la psicología, arrastrada, quizás, por una antigua idea de que la misión de la ingeniería era poder comprender, calcular y simular comportamientos, procesos o construcciones industriales más que estudiar como piensan e inventan los ingenieros y como potenciar la inventiva de los propios ingenieros.

La enseñanza de la ingeniería, hasta hace poco, parecía que únicamente pretendía solucionar cuestiones planteadas por otros. Según este enfoque los métodos de cálculo son primordiales para el desarrollo de la ingeniería. Pero, en los tiempos actuales, *también* lo es el encontrar nuevas aplicaciones y avances de la ingeniería. Hasta los tiempos actuales, esta parte del trabajo parecía estar limitada a personas con una capacidad diferenciada del resto de los ingenieros: los *genios* o personas con gran capacidad de inventiva considerada, de alguna forma, innata. No obstante, en los tiempos actuales, las empresas piden efusivamente que sus ingenieros tengan una mayor capacidad de innovación. Cualquier ingeniero que viva en un entorno empresarial “sufre” esta exigencia. Los ingenieros necesitan, actualmente, por lo tanto, no sólo poder “calcular” o “dar forma” a un producto, sino, poder generar nuevos productos y para ello debe saber obtener nuevas ideas, independientemente de su creatividad innata.

La empresa parece que puede ayudar a esta “exigencia” invirtiendo más dinero y más recursos. Pero esto no suaviza la presión sobre el ingeniero. Tampoco se pueden “fabricar” genéticamente, al menos por ahora, más inventores. Siempre habrá personas favorecidas genéticamente con un alto nivel inventivo y creativo, pero parece que la demanda actual es superior a la capacidad de generación natural de posibles genios.

Llegados a este punto, se puede pensar que no se puede aumentar la capacidad de inventiva por que los “potencialmente innovadores”, los inventores, son los que son y no son más. No obstante, en vista de que los métodos de trabajo, tanto individuales como en equipo, han ido evolucionando y optimizando sus rendimientos, y consecuentemente mejorando los productos y los procesos de fabricación, puede parecer muy optimista, pero tiene sentido creer que existe todavía un gran potencial de mejora. Así pues, para los ingenieros que pueden ser considerados como “*no genios*”, ¿se les puede ayudar de alguna forma a ser algo más innovadores?

La generación de ideas y la creatividad no han sido demasiado estudiadas por la propia ingeniería. Esta falta de conocimiento en “*creatividad aplicada explícitamente en la ingeniería*” sugiere que se debe de estudiar si existen métodos que puedan ser utilizadas en el actual entorno ingenieril, o sea, “sin disponer de demasiados conocimientos aplicados en este campo”. Si antes había genios, ahora los seguirá habiendo, pero una empresa no puede basar su gran demanda de innovación a un “único gran genio”. Aún en el caso de disponer de él, se necesita, también, que un alto porcentaje de los ingenieros en plantilla dispongan de unas herramientas que les permitan fomentar tanto su nivel creativo como el del equipo con el que trabajan, siempre que las circunstancias lo requieran. La presente tesis intenta poder ayudar a encontrar esta “herramienta”.

La Psicología ha realizado muchos estudios sobre creatividad y ha llegado a diferentes conclusiones. Muchas de éstas conclusiones ya se están introduciendo en los entornos laborales, no obstante, el nivel de conocimiento de la aplicación de la creatividad en la ingeniería y la potenciación de ideas en entornos empresariales no parece ser demasiado “alto”. Sí que es alto respecto a los avances realizados en el siglo XX dentro de la propia psicología, pero no parece demasiado alto respecto a las exigencias de la ingeniería. Las empresas e ingenieros actuales conocen, seguramente, muchas técnicas de creatividad y saben cosas que se puede hacer para mejorar la creatividad, no obstante, la realidad es que, como mucho, las empresas emplean muy pocas técnicas adicionales al ya tan conocido “*brainstorming*” y, cuando lo aplican, es en situaciones muy puntuales y a su manera. Que sea “a su manera” es totalmente válido, pero, siempre y cuando, haya sido fruto tanto de un alto conocimiento como de un elevado número de aplicaciones, y no por ignorancia.

Quizá, esta aparente falta es debida a que los estudios e investigaciones sobre la creatividad realizados por los psicólogos pueden presentar las siguientes observaciones, al menos referidas al sector industrial: a) Parece que los estudios se han basado mayoritariamente en problemas muy concretos y acotados, en muchos casos con una solución “muy difícil” pero, generalmente, *única*; b) Las técnicas estudiadas no se han empleado extensivamente en entornos ingenieriles; y, c) parece que sus conclusiones no fluyen con facilidad a los entornos laborales, quizá, porque el propio sector industrial lo dificulta. La presente tesis intenta ser una aportación que ayude a solventar las tres deficiencias indicadas.

Respecto al primer punto indicado, los problemas planteados normalmente en las investigaciones realizadas por los psicólogos parecen ser muy diferentes de los habituales en la Ingeniería y la Ciencia. Los ingenieros y científicos trabajan con problemas muy complejos, con un muy elevado número de variables, que no tienen una única solución, sino, más bien, una gran infinidad de soluciones posibles, donde *nadie* conoce de antemano la solución óptima y es *imposible* llegarla a conocer, con lo cual, no es posible conocer el grado de acierto de la solución propuesta. Más aún, al cambiar un mínimo la pregunta inicialmente planteada aparecen una nueva infinidad de posibles soluciones. Las propias preguntas son, en casi todos los casos, *indefinidas o abiertas*. Así, la Ingeniería trabaja con una gran infinidad de preguntas indefinidas que tienen una gran infinidad de respuestas posibles. Paradójicamente, todo y la doble infinidad de preguntas y soluciones, ni unas ni otras aparecen fácilmente. No es extraño, por lo tanto, hablar de genios.

En el acto de recepción en la *Real Academia de Ingeniería*<sup>1</sup> de Leopoldo Calvo Sotelo, Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, éste ilustre Ingeniero leyó un discurso donde remarcaba la importancia de la ingeniería y de los Ingenieros en este nuevo siglo XXI. Recordó que a todo colectivo le conviene preguntarse de vez en cuando por su propia identidad y que el comienzo de un siglo es una buena oportunidad para que los mismos ingenieros se pregunten: “¿Qué somos, qué debemos ser, qué podemos ser los ingenieros?” En su opinión no parecen estar definidas las respuestas a esas preguntas.

---

<sup>1</sup> Acto celebrado el 11 de Diciembre de 2003.

Calvo Sotelo recordó que hace 2 siglos, el *Diccionario de la Lengua* de 1803 describía al Ingeniero como la persona que “discurre con ingenio las trazas y modos de ejecutar alguna cosa”. Para él, el ingeniero media entre la idea y la cosa: “Ahí está la raíz “gen”, tan antigua que hay que rastrear sus orígenes sánscritos, en el tronco común indoeuropeo, la noble y antigua raíz “gen” que vertebra nuestro nombre de ingenieros, y que ilumina también a tantos otros términos ilustres. Engendrar la cosa a partir de la idea. Ahí está el ingeniero. Cosificando las ideas, convirtiendo los proyectos en obras, encarnando en proyectos y en obras sus ideas o las que otros le proponen. Ésa era hace doscientos años y ésa es nuestra función al comenzar el siglo XXI”. (CALVO SOTELO, 2004) (COITT, 2004)

El mismo Calvo Sotelo indica tres papeles por los que ha pasado el Ingeniero a lo largo de la historia: En primer lugar indica el importante protagonismo que han tenido como motores de la técnica y, como consecuencia, de la economía, pues “mientras haya ingenieros no se agotará el impulso creador humano, aunque se agoten las minas de carbón”. En segundo lugar, el espíritu innovador que distingue al ingeniero. Y, en tercer lugar, el ingeniero como el hombre fáustico. Calvo Sotelo creemos que con este tercer papel se refiere a los ingenieros como individuos de carácter amplio y generoso, imbuidos y sedientos de sabiduría y conocimientos universales, comprensivos y tolerantes, equilibrados entre los opuestos, como seres humanos con una curiosidad insaciable por la naturaleza, considerada en su visión más amplia, y que constantemente se superan a sí mismo so pena de morir. (CALVO SOTELO, 2004)

Mokyr dedica todo su libro, titulado *La palanca de la riqueza*, a la importancia de los técnicos, indicando que éstos, por medio de las innovaciones tecnológicas, han sido los motores del progreso económico y social. (MOKYR, 1993)

El ingeniero ha debido avanzar en sus visiones, exigencias y responsabilidades respecto de la sociedad. Antiguamente, la técnica era visible por los usuarios: Un martillo, una rueda de molino, las bombas de agua manuales... Posteriormente, el ingeniero fue ampliando los requerimientos técnicos: aumento de producción, añadiendo la ergonomía y aumentando la seguridad en las máquinas, buscando métodos para evitar errores, empleando sistemas de funcionamiento intuitivos...

Los actuales atractivos diseños han llegado a hacer que la técnica quede totalmente oculta dentro del aparato, de tal forma que el usuario no solamente no ve la técnica, sino que ignora totalmente su funcionamiento interior. Prueba de ello es el reducido número de usuarios del automóvil que levantan el capó de sus atractivos vehículos para mostrar el motor a sus amigos, así como, el aún más reducido número de usuarios que pueden hacer una mínima reparación en éstos cada vez más sofisticados automóviles. En los momentos actuales, además, aparece una nueva exigencia: la técnica debe de ser compatible con el medio ambiente. Además, en el siglo XX, han aparecido nuevas aplicaciones de la Ingeniería: Ingeniería Nuclear, Ingeniería Aeroespacial, Ingeniería del Conocimiento, Ingeniería Financiera, Ingeniería Social, Ingeniería de la Información, Ingeniería Genética, Bioingeniería, Ingeniería Medioambiental... El ingeniero, por tanto, se encuentra en una escalada de exigencias cada vez mayor; en una evolución constante; en una carrera que no tiene fin.

Actualmente parece que al ingeniero se le exige, además de ser el mediador entre la idea y la realidad, que sea, él mismo, el generador de la idea. Parece que la ingeniería, como ciencia, debe como complementar sus investigaciones habituales con la línea de mejorar la creatividad y la generación de ideas en los propios ingenieros, tanto individualmente como trabajando en equipo, y, sobretodo, en un entorno industrial. Todo ello desde un enfoque pragmático y útil para sus actividades y objetivos habituales.

Innovar requiere una gran dosis de creatividad y ésta parece ser el resultado de **romper límites**. Estos límites son muchas veces como una pared. En todo proyecto de innovación existen muchas paredes, pero, cuáles se deben derribar no se saben hasta el final. Si el producto es aceptado en el mercado, muy posiblemente, las paredes derribadas eran las adecuadas. Otras paredes derribadas habrían dado otro producto, con otros resultados diferentes. Los cimientos, las dimensiones y el número de paredes son una medida de la complejidad. Lo cómodo para las personas es que se les defina lo antes posible que paredes deben derribarse. ¡Qué horror!. Esto es la anticreatividad. La total definición es la anulación de la creatividad. La máxima creatividad se puede dar con la total indefinición, pero el beneficio económico será nulo. En un punto intermedio, desconocido hasta el final, se encuentra el producto innovador. Soportar la incertidumbre es mantener una cierta indefinición hasta el máximo. Cuando más tardas en comerte el pastel, más sabroso te sabe; pero, si tardas mucho, te mueres de hambre.

Es difícil transmitir en palabras la realidad, pero es algo así. El secreto, pues, parece estar en *aumentar la complejidad y soportar la incertidumbre*. Esta parece ser una característica de todo proceso innovador. Aumentar la complejidad significa poder combinar un gran número de variables propias del producto a innovar, aumentar la interacción entre sus partes (integrar funciones), aumentar la sinergia entre departamentos (ingeniería simultánea), contactar con el cliente en etapas muy primarias... Soportar la incertidumbre significa poder convivir con una cierta indefinición, explorar en zonas oscuras o no visibles, mirar borrosamente, romper enfoques preestablecidos y prejuicios, ir durante un tiempo a ciegas, probar suerte...

Las empresas e ingenieros consideran necesario innovar aunque, realmente, no saben cómo hacerlo; no tienen la certeza de que lo hacen correctamente ni de cómo debería ser. Este desconocimiento del *Método* más adecuado no les inhibe de trabajar para conseguirlo. Les mueve la necesidad y la motivación. No saben cuál es el camino, pero si saben que *“todo camino se hace andando”*. O bien, como decía Antonio Machado: “Caminante no hay camino, se hace camino al andar”. Así pues, “están en ello” con gran voluntad, interés e ilusión, pero con muchas incertidumbres. ¿Qué se puede hacer para ayudar a estos profesionales en su búsqueda, la cual nos puede beneficiar a todos?

Quizás, lo primero de todo, es intentar no ser ciegos a la *realidad*. Aunque la realidad no es totalmente cognoscible, parece que no es descabellado pensar que no se encuentra el *“Método”* porque éste no existe. No parece lógico pensar que existe el *Método* con mayúsculas.

En la innovación y en la creatividad es la *búsqueda* lo que importa. La creatividad y la innovación van asociadas a la incertidumbre y la complejidad. En esta aventura sólo encuentran los que buscan; y, curiosamente, tampoco saben exactamente lo que buscan. En esta búsqueda constante, a medida que avanzan en su camino encuentran cosas; cosas que suelen serles muy útiles. El que busca, aplica y el que aplica, a veces, yerra, y en este errar se aprende. En esta búsqueda que enseña se encuentra la novedad. Esta capacidad de búsqueda se pierde si no se utiliza. Y, cuando se encuentra lo novedoso, todavía hay quien dice: ¡tuvo suerte!. Pues sí, dentro de la Técnica se encuentra también la incertidumbre asociada a todo entorno natural y humano también. Por ello contestó Pasteur: “la suerte sólo beneficia a las mentes preparadas”.

La incertidumbre de toda búsqueda suele ir asociada a un riesgo de fracaso. En los tiempos actuales, donde la estadística sabe tratar con variables aleatorias, ya existen métodos para poder cuantificar la incertidumbre. Esta cuantificación no suele ser absoluta, sino, probabilística. Permite comparar riesgos entre diferentes alternativas, pero nunca, reducir los riesgos a cero. Los mismos métodos estadísticos pueden permitir en muchos casos inferir alguna idea novedosa a base de observar y analizar los datos. (RAO, 1994). No obstante, no parece que éstos métodos sirvan para generar la gran demanda de ideas novedosas.

Un método es, como toda teoría, sólo una aproximación a la realidad. Si el método es bueno puede tener aplicación en muchos casos, pero no será la llave para todas las puertas. Los métodos tienen una función simplificadora y mecánica. Todo lo contrario le sucede a la creatividad, que es compleja y “está viva”. Puede considerarse que no existe el *Método de Generación de Ideas*. No se puede poner la creatividad en una “caja”. Parece lógico pensar que en cada situación debe utilizarse el más adecuado. Pero, hasta el momento, cada situación es en cierta medida diferente. Esta diversidad de métodos ilustra que lo importante en la generación de ideas no es el método en sí.

Esta inicial falta de un método “válido para todo” no es problema para la ingeniería. En la ingeniería se está habituado a trabajar sin tener el mejor método; todo método tiene su excepción. La ingeniería siempre se ha basado, por suerte, en emplear el *ingenio* allí donde falla el método.

Tal como indica López Ruiz, haciendo referencia a los proyectos de Ingeniería en general: “observo que hay cuatro facetas que aparecen en casi todos ellos: el Arte, el Ingenio, la Ciencia y la Técnica”. Recuerda que “la Ciencia y el Ingenio figuran explícitamente en el lema del escudo de nuestra Academia; yo me he permitido añadir el Arte y la Técnica como complementos”. Él mismo indica que la Real Academia Española define el *Ingenio* como: “Facultad en el hombre para discurrir o inventar con prontitud y facilidad”. (LOPEZ RUIZ, 2004) La Real Academia añade, a la anterior, otras definiciones de Ingenio. De todas ellas, nos parece interesante recordar una: “Intuición, entendimiento, facultad poética y creadora”.

La práctica ingenieril diaria es una constante aplicación, generación y readaptación de métodos de trabajo aplicables en todos los campos, lo cual permite poder decir que los ingenieros disponen de un alto grado de ingenio y, quizá, por lo tanto, de creatividad. Así, éstos individuos no serán todos genios, pero sí saben emplear su ingenio. Ingeniero de alguna forma implica saber adaptarse a las circunstancias y a los problemas técnicos, de la mejor manera posible, sin ser un gran genio, pero si lo suficientemente ingeniosos para solucionar el problema. Parece que quien aplica su ingenio tiene que tener una cierta capacidad creativa ya innata.

Por otro lado, respecto al aparente desconocimiento de cómo aplicar la creatividad en la empresa, alguien puede considerar, muy adecuadamente, que esta aparente “*deficiencia*” puede ser al mismo tiempo una “*ventaja competitiva*”. El campeón, muy probablemente, no puede buscar a su alrededor a quien imitar pues él mismo es el ejemplo. Así pues, ¿cómo mejora sus marcas?. Seguramente, “*mojándose en situaciones extremas*”. Si le funciona, se toma como método para los que van detrás. Si fracasa, aprende de sus errores, con lo que sigue manteniendo una cierta diferencia. Parece que esto es la creatividad. Querer algo, no exactamente definido, pero que su búsqueda parece ser “*vital*”. La innovación se encuentra en esta necesidad vital. Para conseguirlo, no sólo se necesita que todos los sentidos se focalicen en esa dirección, sino también, todas las aptitudes o capacidades: inteligencia, imaginación, relaciones humanas, búsqueda de información, ilusión, espíritu de sacrificio, paciencia... La creatividad es quizás sólo una de ellas, eso sí, muy importante, pero no la única. El innovar se inicia creando grandes dosis de necesidad vital de renovación en uno mismo y en los individuos en general. Y, esto último, es más una actitud que una aptitud. Así, la capacidad de innovación requiere una actitud proactiva ante la vida. Para Ortega y Gasset, el ser humano se encuentra en una constante búsqueda; tiene que autofabricarse. En la esencia de esta búsqueda se encuentra lo técnico. “He aquí porqué el hombre empieza cuando empieza la técnica”. La Técnica combina dos entes heterogéneos: el ser humano y el mundo. Haciendo referencia al sentido de la vida, indica: “Nuestro problema, casi de ingeniero, es la existencia humana”. Por este motivo Ortega concluye que “el hombre es un ser técnico”. (ORTEGA Y GASSET, 1982)

Si el aventurero no considera “vital” su aventura, no será capaz de “exigir”, ni a él mismo y ni a su entorno, el máximo de las aptitudes necesarias, y, por tanto, fracasará en el intento. Así pues, lo importante no es sólo la aventura; ésta debe ser, además, apasionada. Si no interesa, no se hace, pero si interesa, se puede “dar hasta la piel”.

¿Habría sido lo mismo si Colón se hubiera quedado en Tierra y hubiera dado únicamente “directrices” a la tripulación?. Sí, siempre y cuando en el barco hubiera viajado un capitán intrépido que hubiera asumido el reto como suyo, pero, curiosamente, dado que las dificultades siempre superan las predicciones, el “nuevo” capitán habría sido el nuevo descubridor de América, y el nombre de Colón habría pasado a un segundo plano.

¿Habría sucedido lo mismo con Pasteur, Fleming, da Vinci, Einstein...? Sí. Los descubrimientos habrían aparecido igualmente, pero el nombre de los descubridores habría cambiado. Cada aventura lleva el nombre del aventurero que la ha conseguido, del individuo que podría haber dado incluso su piel por conseguirla; cada aventura necesita un aventurero. Así pues, la creatividad tiene un gran componente de reto personal. Como se fomenta este espíritu aventurero en las personas es muy difícil, pero parece que, por suerte, ya está en el interior de muchas de ellas. Recuérdese la máxima: “querer es poder”. La innovación, como la creatividad en general, consiste en intentar hacer cosas nuevas sin tener la total certeza de que el método empleado es el más correcto. No debe preocupar el método, sino la búsqueda. Quizás, puede considerarse que es mejor “no tener un método”, dado que así, no hay nada totalmente establecido, con lo que, probablemente, es más fácil romper esquemas. Así pues, más que un método lo mejor es tener una estrategia, la cual consiste en definir posibles métodos que se deberán de ajustar en función de los imprevistos que vayan apareciendo.

Según los actuales enfoques del *Pensamiento Complejo* de Morin y sus seguidores, éstos indican que según esta línea de pensamiento, el método no debe interpretarse como un conjunto de recetas eficaces para la realización. Esto más bien sería un programa y, por tanto, el método no debe confundirse con un programa. Para este pensamiento, dado que la realidad es compleja, cambia y se transforma, el sujeto, en su recorrido, debe ser capaz de aprender, inventar y crear “en” y “durante” el caminar. El método debe incluir la experiencia del ensayo. Se disuelve al caminar. Es preciso

siempre que en el viajero haya siempre algo de placer en el paisaje y en el cambio que provoca el camino. El método, generado por la teoría, la regenera. El método requiere la incorporación del error. El método ve a las ideas no como reflejos de lo real, sino, más bien, como traducciones y construcciones sobre la realidad, las cuales producen errores en las actividades humanas; debiendo de, por lo tanto, dejar de ser dogmáticas. El error fundamental reside en la apropiación monopólica de la verdad. El problema del error no niega la verdad; indica que es un camino que no tiene fin. Indica que para llegar a la verdad se debe pasar por el error. Muestra que el obstáculo para el aprendizaje del conocimiento no es el error, sino la fijación de un conocimiento envejecido. A esta visión compleja del método se le puede llamar *estrategia*. (MORIN, 2003)

Para Morin, la estrategia encuentra recursos y rodeos, realiza inversiones y desvíos. La estrategia es abierta, evolutiva, afronta lo imprevisto, lo nuevo. El programa no improvisa ni innova. El método, visto así, es obra de un ser inteligente que ensaya estrategias para responder a las incertidumbres. El método sirve para aprender.

“El método/camino/ensayo/travesía/búsqueda y estrategia es imposible de reducir a un programa, tampoco puede reducirse a la constatación de una vivencia individual, es en realidad la posibilidad de encontrar en los detalles de la vida concreta e individual, fracturada y disuelta en el mundo, la totalidad de su significado abierto y fugaz”. (MORIN, 2003)

“Es un viaje que no se inicia con un método, se inicia con la búsqueda del método. Según Morin, la idea de estrategia va unida a la de alea: alea en el objeto (complejo), pero también en el sujeto (puesto que debe tomar decisiones aleatorias y utilizar las aleas para progresar)”<sup>1</sup>(MORIN, 2003)

Para Morin, pensar de forma compleja es pertinente allí donde hay que pensar. Donde no se puede reducir lo real ni a la lógica ni a la idea. Pensar es construir una arquitectura de las ideas, y no tener una idea fija. Con una idea fija no nace la inspiración, nace si esta idea es poética. Por otro lado, esta visión conlleva un enfoque trágico, reconoce a la vez la imposibilidad de totalización. El inacabamiento se halla en la conciencia

---

<sup>1</sup> Según indica Morin en (MORIN, 2003): un programa solo puede soportar una dosis débil y superficial de alea, mientras que la estrategia se despliega en las situaciones aleatorias, utiliza el alea, el obstáculo y la adversidad para alcanzar sus fines. *Alea* significa en latín juego de dados, juego de azar, riesgo, suerte e incertidumbre. Y el *aleator* significa jugador de profesión, es decir, aquel que puede aprovechar los aleas para sus fines.

moderna. Es una persecución que no tiene fin. ¿Acaso no es así la Técnica? ¿No se oculta en este mismo “sinfín” todo el potencial innovador?

Por lo tanto, si bien es cierto que en la creatividad parece que: a) no existe un único método, b) los ingenieros tienen ya de forma innata un alto potencial creativo, c) la capacidad de aventura “vital” no depende del método, y, d) los programas no son válidos para todas las situaciones, se plantea la pregunta: ¿debe de abandonarse la búsqueda de encontrar posibles *métodos* que ayuden a los ingenieros a ser más innovadores?.

Se supone que la respuesta a esta pregunta es que *no*. En la presente tesis se intenta buscar un método que ayude a los ingenieros a generar nuevas ideas, pero siempre bajo un enfoque más estratégico que programático.

Así pues, en el entorno indicado, la presente tesis se plantea la siguiente cuestión ¿Puede, desde la óptica de la necesidad pragmática de la ingeniería y dentro de la complejidad de sus problemas, estudiarse el tema de creatividad? ¿Puede la propia ingeniería estudiar cómo potenciar la capacidad de inventiva de los ingenieros? ¿Puede ayudarse a los ingenieros a ser más creativos? ¿Puede aportarse algo, desde una óptica ingenieril, en el campo de la creatividad? ¿Puede inferirse algo a partir de la historia de la ciencia y de la técnica sobre los procesos de invención realizados? ¿Pueden hacerse pruebas experimentales sobre el nivel de creatividad de un grupo de ingenieros trabajando en problemas indefinidos, complejos y de soluciones múltiples? ¿Qué variables principales pueden llegar a intervenir en un proceso de generación de ideas dentro de los problemas ingenieriles? ¿Puede existir algún enfoque “simplista” que, aún no siendo exacto, al menos sea útil y permita ayudar a los ingenieros en esta búsqueda?

Una vez expuestas las cuestiones que han motivado la realización de la presente tesis, se considera oportuno hacer una serie de aclaraciones. En primer lugar, el enfoque general intenta tener aplicación únicamente dentro de la ingeniería. Ante una frase ambigua sobre el campo de aplicación, se ruega al lector que siempre de un sentido dirigido a la aplicación en la ingeniería. Dentro de ésta, se intenta potenciar la generación de ideas innovadoras. No se intenta potenciar la creatividad en cualquier otra fase de aplicación de la ingeniería o de la búsqueda de la innovación en general. Algunas frases,

conclusiones o comentarios pueden tener aplicación a otros campos y ser aplicados en otras fases del proceso de innovación, pero no deben de considerarse objeto de la presente tesis. Muchas de las frases empleadas no pretenden ser absolutas y para encontrar su correcto significado deben de leerse siempre en el contexto en el que se encuentren. Las únicas conclusiones a las que pretende llegar la presente tesis son las descritas en el capítulo 9, propio de **Conclusiones**. Las conclusiones que puedan extraerse de la lectura de la presente tesis que no estén contempladas en dicho apartado no forman parte de la misma. El objetivo básico de estas aclaraciones no es otro que evitar ambigüedades sobre las conclusiones obtenidas.

La presente tesis está orientada a potenciar de la generación de ideas dentro del proceso de innovación tecnológica en las aplicaciones de la ingeniería industrial. Intenta, por tanto, potenciar la creatividad de los ingenieros. Esta búsqueda llega a unas conclusiones las cuales son fruto no exclusivo de búsqueda de información dentro de la Psicología y de la Creatividad. Son resultado de una búsqueda de información en campos muy variados y, por lo tanto, intenta ser resultado de una labor pluridisciplinar. En esta línea, se ha hecho un esfuerzo importante de búsqueda de información en campos como: La Historia de la Ciencia y la Técnica, la Filosofía y la Filosofía de la Ciencia, la Antropología, la propia Ciencia, las Teorías de la Evolución, el Conocimiento de la Mente, la Teoría de la Ciencia, la Teoría de la Investigación Científica, la Inteligencia Artificial, los orígenes del universo, Teorías del Caos, Teorías de la complejidad, diferentes teorías sobre el azar, el teorema de Gödel, teorías de la invención, biografías de inventores... Dentro de la propia psicología se han estudiado temas como: La inteligencia emocional, teoría de las emociones, la intuición, la creatividad, las capacidades humanas, el juego (sobretudo aplicado a la creatividad), técnicas existentes sobre la creatividad, la resolución de problemas, la psicología cognitiva...

Con objeto de ayudar a entender como está distribuida la presente tesis, se van a exponer cuales son los capítulos introductorios que permiten ubicar las partes más importantes. En el capítulo 2 se exponen las **Hipótesis**, siendo éstas las cuestiones principales de la tesis. En el capítulo 3 se exponen los **Objetivos**. En la presente introducción se ha expuesto el entorno general y parte de los objetivos buscados, pero en este capítulo 3 se intenta definir cuales son exactamente éstos objetivos. En el

capítulo 4, se expone cual es el **Alcance** de la presente tesis. En él se indican cuales son los límites que se han tenido en consideración; de alguna forma, en él se indica cuales son las cosas que no forman parte de la tesis. Se intentará limitar el entorno en el que se trabaja. En el capítulo 5 se expone cual ha sido la **Metodología** de trabajo seguida, los pasos y como se verifican las hipótesis. Por último, en el capítulo 6 se expone la Estructura de la tesis. En este último capítulo se describe que información se encuentra ubicada en el resto de los capítulos y en cada apartado correspondiente. Las **Conclusiones** finales se encuentran en el capítulo 9.

Con objeto de ayudar a entender el trabajo realizado en la presente tesis, a continuación se detalla un breve resumen de la misma. Este resumen intenta dar una visión global de las líneas de trabajo empleadas.

## 1.1 Breve resumen inicial de la tesis

### 1.1.1 Introducción al resumen

No es necesario insistir demasiado sobre la actual alta demanda de innovación. Aunque ésta afecta prácticamente a todos los ámbitos sociales, en dos de ellos la presión parece mayor: la **Ciencia** y **Ingeniería**. Se pide a la Ciencia que aumente el conocimiento y a la Ingeniería que lo convierta en "**producto**" de utilidad social con rentabilidad económica. La ingeniería, así vista, es un motor de la innovación. El mundo empresarial exige a la Ingeniería, como sistema transformador de conocimiento en beneficio económico, que aumente su ritmo innovador. La creación de nuevos productos requiere creatividad. La ingeniería, como disciplina, hasta hace relativamente pocos años no se ha dedicado a investigar y enseñar como potenciar la creatividad. Esta falta quizás ha provocado que muchos de los estudios realizados en el campo de la creatividad no se hayan difundido al campo ingenieril. Las empresas intentan implementar procesos de innovación que les faciliten innovar. En la primera fase de estos procesos, la **fase creativa**, es donde se deben generar el máximo número de potenciales ideas innovadoras, las cuales irán definiéndose a lo largo del resto del proceso hasta obtener el producto innovador. Este producto no sólo debe aportar una gran diferenciación y ventaja económica, sino que, además, la transformación de **idea** en **producto** es la razón de ser de la empresa. Sin ideas la empresa no sabe en qué emplear sus recursos. Las ideas, como fuentes de esperanzas, son motor del futuro. La innovación no sólo es convertir en realidad una idea: es también saberla generar. La generación de ideas es una de las fases primordiales dentro del proceso de innovación. Como expresa la ley de la evolución: sobrevivir es seleccionar. Sin diversidad de ideas, la probabilidad de seleccionar las adecuadas para los fines empresariales se reduce.

### 1.1.2 Objetivos esenciales de la tesis

La presente tesis tiene por *objetivo principal* aportar nuevos conocimientos sobre la creatividad aplicada en la ingeniería, en concreto, en la fase creativa o de generación de nuevas ideas. Para ello se emplean cinco líneas de trabajo: *(a)* Dando un modelo de creatividad simplificado; *(b)* Justificando las bases teóricas de este modelo; *(c)* Encontrando posibles aplicaciones ingenieriles a este modelo; *(d)* Aplicando experimentalmente algunas de ellas en entornos académicos; *(e)* Aplicando experimentalmente otras en entornos profesionales e ingenieriles.

### 1.1.3 Metodología básica e Hipótesis propuestas

Se parte de dos series de hipótesis. Las *hipótesis de trabajo* son: 1ª) La creatividad es un sistema complejo; 2ª) La creatividad se produce más fácilmente en los estados placenteros; 3ª) Existe el azar en la naturaleza; 4ª) El azar interviene en el proceso creativo y en la generación de nuevas ideas; y, 5ª) El juego puede favorecer los estados placenteros y satisfactorios y, por lo tanto, favorece al proceso creativo y a la generación de nuevas ideas.

Las *hipótesis principales* son: 1ª) Existe un modelo de creatividad simplificado basado en cuatro variables; 2ª) El modelo de creatividad combinado con el empleo del juego permite generar nuevas técnicas de creatividad; 3ª) Empleando las técnicas de creatividad basadas en el modelo simplificado pueden generarse nuevas ideas si se aplican en la fase creativa de la innovación tecnológica; y, 4ª) Añadiendo un lenguaje plástico puede ayudarse a generar nuevas ideas. Las hipótesis principales tienen una relación directa con el objetivo que se pretende alcanzar. Las hipótesis de trabajo intentan conformar la base teórica de las hipótesis principales. Para demostrarlas, por un lado, se busca información bibliográfica sobre trabajos de investigación ya realizados. Por otro lado, se realizan experiencias empleando las diferentes técnicas propuestas. Se espera que con los resultados obtenidos, conjuntamente con la bibliografía analizada, se pueda llegar a correctas conclusiones respecto a las hipótesis planteadas.

### 1.1.4 Modelo de creatividad simplificado

El modelo de creatividad simplificado propuesto viene dado por cuatro variables: la creatividad innata, el conocimiento en el campo, el sentimiento placentero y el azar. El modelo de creatividad pretende: identificar variables significativas dentro de la generación de ideas, ayudar a “visualizar” como interactúan entre sí, “entender” cómo una actuación sobre cualquiera de ellas mejora la creatividad y, por último, poder “ver” como actuando sobre varias al mismo tiempo se multiplica la capacidad creativa. Este modelo viene representado por un tetraedro que se forma al unir los puntos correspondientes al valor de cada variable situados sobre los cuatro ejes de coordenadas representativos de cada variable. Se considera que el volumen contenido en su interior es equivalente a la creatividad del individuo o grupo, a partir del cual se han tomado los valores de cada variable. Ilustra que la creatividad puede verse como “producto” o sinergia de estas variables.

### 1.1.5 Bases teóricas del modelo de creatividad simplificado

Dentro de las bases teóricas, por un lado, se trata de buscar cual es la importancia de estas variables dentro de la creatividad. Por otro lado, se trata tanto de ver cómo se puede actuar sobre estas variables como de ver como actuar sobre varias de ellas al mismo tiempo. Respecto a su papel en la creatividad, simplificando mucho:

***Creatividad innata:*** Esta claro que cada individuo nace con unas dotes genéticas respecto a la creatividad. Estas dotes son alteradas por las circunstancias propias a cada individuo: familia, educación, entorno histórico/social/laboral/político, amigos, profesores, experiencias, sucesos “fortuitos”, desgracias personales... Así, en un momento dado de la historia de cada individuo, éste tiene un potencial creador determinado. Se denomina ***innata*** porque tiene una gran relación con su genética y con la historia individual pasada; variables sobre las que parece muy difícil actuar a corto plazo, pues son las que son.

**Conocimiento:** Esta variable ilustra la tan conocida expresión que indica que no se puede crear *ex nihilo*. Una persona con alta creatividad innata puede ser capaz de dar ideas aparentemente muy innovadoras, pero si no dispone de un cierto conocimiento en el tema, no será capaz de ver los “pros” ni los “contras”. Tampoco sabrá evitar los obstáculos ni buscar alternativas que le permitan llevar la idea a la práctica. De nada sirve “volver a inventar la rueda”, por muy creativo que parezca. Se requiere un alto nivel de conocimiento para poder desarrollar nuevas ideas. Varios investigadores indican que se requiere una dedicación mínima de 20.000 horas para empezar a ser creativo. El conocimiento no es una garantía para obtener nuevas ideas, pero es condición necesaria para poderlas obtener.

**Sentimiento placentero:** está demostrado que las personas que experimenten el estado de “flujo o de experiencia óptima” se encuentran en un estado “placentero”. En este estado el rendimiento creativo resulta altamente potenciado. Goleman se plantea que factores entran en juego cuando personas con elevado CI no saben qué hacer mientras que otras, con un CI inferior, lo hacen sorprendentemente bien. Para él, la diferencia radica en el conjunto de habilidades denominado *inteligencia emocional*, constituido por el autocontrol, el entusiasmo, la perseverancia y la capacidad de automotivación. Según él, existen dos mentes: una que piensa y otra que siente, y estas formas de conocimiento interactúan conformando la vida mental. Csikszentmihalyi, Goleman, Damasio y LeDoux coinciden en que los sentimientos, sobretudo los positivos y placenteros, son potenciadores de la creatividad.

**Azar:** Analizando la historia de la ciencia y la técnica se observa que hay un gran número de inventos y descubrimientos atribuidos a la suerte. Hay una extensa bibliografía sobre la relación suerte/invencción. Para Pasteur: “El azar sólo beneficia a las mentes preparadas”. El elevado número de ejemplos permite plantearse qué papel juega el azar o la suerte en los trabajos creativos. Es habitual presuponer que el ser humano es un ser racional y, según esta óptica, la Ciencia, como paradigma racionalista, suele evitar el azar. No obstante, ¿de dónde surgen las hipótesis?. No se sabe, pero lo que si es cierto es que no suele ser mediante un método racional. Para algunos investigadores la esencia del *“genio”* radica en la capacidad de detectar estos sucesos aparentemente fortuitos. Por otro lado, cuando a alguien le sucede algo totalmente imprevisto no puede negarse que este suceso es también novedoso, aunque al final

parezca ser resultado de un encadenamiento lógico. Dependiendo de la incidencia en el individuo el suceso será interpretado como “*suerte*” o “*desgracia*”, ya sea beneficioso o perjudicial, pero, en cualquier caso, es una *novedad*. Una visión sabia de la vida sugiere no precipitarse a la hora de calificar los acontecimientos, pues lo “malo” hoy es un paso necesario para lo “bueno” de mañana. Desde esta óptica, la tesis estudia el papel del azar en diferentes facetas del conocimiento: en la filosofía de la ciencia, la ciencia, la técnica, la teoría de la invención, la creatividad, la teoría de la evolución...

Parece que en el interior de estas cuatro variables que conforman el modelo se oculta una parte de la creatividad. Hay una variable, la creatividad innata, sobre la que el modelo no parece que pueda actuar a corto plazo. Las otras tres, por ser más maleables a corto plazo, parece que pueden emplearse para potenciar la creatividad. Por ejemplo, en el estado de flujo el individuo alcanza estados placenteros potenciadores de resultados creativos. Adicionalmente, en el azar hay oculto un cierto potencial de creatividad. Por tanto, “*jugar con el azar*” puede potenciar la búsqueda de ideas. Así, el juego potencia tanto el estado placentero como la búsqueda de azar, con lo que, tal como intenta mostrar el modelo, se potencia doblemente la capacidad creativa, pues actúa, al menos, sobre dos de sus variables.

### **1.1.6 Posibles aplicaciones del modelo de creatividad simplificado**

En la tesis se intenta dar una lista de posibles aplicaciones dentro de la generación de ideas en entornos ingenieriles. Estas aplicaciones pueden ser consideradas como técnicas de creatividad aplicadas a la generación de nuevas ideas. Estas técnicas emplean instrumentos como el juego con el fin de combinar las variables del modelo. Desde la óptica expuesta, el número de técnicas expuestas puede ser ampliado con cierta facilidad, dependiendo de la imaginación de quien se plantea aplicarla.

### 1.1.7 Aplicaciones experimentales en entornos académicos

**Primera técnica aplicada:** se aplicó con estudiantes de ingeniería. Se emplean dos grupos de trabajo de entre 5 y 8 participantes. Estos dos grupos trabajan al mismo tiempo en la misma sesión de trabajo de 1 hora de duración. Los miembros de ambos grupos están juntos alrededor de la misma mesa de trabajo. Cada grupo debe de aportar el máximo número de ideas siguiendo las reglas de una sesión brainstorming típica. La pizarra donde se escriben las ideas se divide en dos partes. En cada parte se anotan las ideas de cada grupo. Se indica a cada grupo que están en una competición y que ganará el grupo que aporte más ideas. Las ideas no se pueden repetir pero sí se pueden ampliar aunque sean dadas por el otro grupo. Como trabajan juntos, todos ven y oyen lo que dice el equipo contrario. Sobre la mesa se colocan objetos de características muy variadas: diferente material, espesor, forma, tamaño, acabado superficial... Estos objetos intentan: aumentar el ambiente lúdico, ayudar a transmitir ideas, sensibilizar a los participantes... Estos elementos de apoyo a la comunicación, junto con el empleo de dibujos, ayudan a transmitir las ideas y forman parte de lo que se denomina en la tesis “apoyarse en un lenguaje plástico”.

Con objeto de ver el rendimiento creativo de la técnica se compara con grupos de trabajo de características similares trabajando en una sesión brainstorming típica y con la misma propuesta planteada a los participantes de la técnica en estudio. Se realizan cuatro sesiones distintas alternando los participantes a fin de ver su comportamiento en las diferentes técnicas. Tras analizar los resultados obtenidos empleando la técnica propuesta y comparándolos con los obtenidos aplicando el brainstorming clásico se llega a las siguientes conclusiones.

**Conclusiones cualitativas:** Los participantes manipulan los materiales, hacen construcciones y dibujos. El ambiente es relajado pero muy activo. Los participantes están cerca de la mesa, “prácticamente están encima”. Se trabajaba realmente “en grupo”: los participantes hablan entre sí, se transmiten ideas, interactúan activamente, se escuchan, dialogan, construyen sobre las ideas ya dadas. Escuchan o leen las propuestas del grupo contrario mejorándolas. Las ideas de los otros les ayudan a cambiar enfoques. El ambiente era más creativo que en el brainstorming clásico. Cada grupo da ideas al

mismo tiempo que el otro grupo, en paralelo. Como consecuencia se necesitan dos moderadores para anotar el gran flujo de ideas dado por ambos grupos. Cada moderador estaba dedicado “totalmente” a un grupo únicamente. El lenguaje plástico empleado parece que ayudó a la comunicación de ideas y que tenía influencia positiva dado que posiblemente les hacía más sensibles. El juego propuesto, “competición entre equipos”, parece que ayudó al flujo de ideas. Fue como realizar “dos brainstorming en paralelo”.

**Conclusiones cuantitativas:** De las cuatro sesiones realizadas, en dos de ellas se observa que el rendimiento total es, de una forma clara, mucho mayor. Se observa que la técnica beneficia más a los grupos que parecen ser menos creativos inicialmente. Esto confirma el sentido común: los grupos con alta creatividad están menos influidos por las técnicas empleadas; no necesitan tanto de técnicas externas para mejorar su creatividad. En los grupos analizados, durante la aplicación de la técnica propuesta, se obtienen importantes mejoras del número de ideas dadas por individuo. El método propuesto parece ser beneficioso para la generación de ideas.

**Segunda y Tercera técnica aplicada:** se trabajó con estudiantes de doctorado del Departamento de Proyectos de Ingeniería. Se aplica a dos grupos de 5 individuos. Los participantes se ponen alrededor de una mesa. Sobre la mesa se coloca una “**caja negra**”. Esta “caja negra” esta formada por una estructura de madera que se emplea para soportar una tela negra que la recubre totalmente e impide ver su interior. El conjunto tiene la apariencia de una “caja negra”. Los participantes ponen sus manos en el interior de la caja negra. Para fomentar el clima lúdico e imaginativo, se les indica que cada participante es una neurona que se interconecta con los otros participantes (neuronas) por medio de la caja negra, por eso deben mantener sus manos dentro de la caja. Se les indica que la caja negra es como un “supercerebro”, el cual tiene en su interior la solución. Si se quitan las manos, se pierde la intercomunicación con los otros y con el “sabio” interior. Los dos grupos trabajan uno después del otro, o sea, mientras trabaja uno, el otro grupo está fuera de la sala. Se les indica que es un juego y que ganará el grupo que aporte las mejores ideas. Antes de iniciar la sesión de trabajo, estando los dos grupos juntos, se da una información técnica muy detallada de la propuesta a mejorar, con lo que los participantes adquieren un alto conocimiento del producto a mejorar. En esta técnica se fomenta el construir sobre las ideas generadas por el resto de participantes. Para lo cual se les indica que no se busca un gran número de ideas, tal

como sucede en el brainstorming clásico. Se prefieren pocas ideas, pero lo más desarrolladas posibles. En este caso se busca más la calidad que la cantidad de ideas. Dado que es imposible desarrollarlas “correctamente” se les sugiere que hagan muchas preguntas y respuestas, rápidamente y sin “pensar” ni “razonar”, o sea, intuitivas, sobre las propuestas dadas. Cualquiera puede preguntar y responder. De esta forma se “avanza” en la idea. Además, el primer grupo trabajó con el interior de la caja negra vacía, mientras que el segundo disponía en su interior de los elementos variados indicados en la técnica expuesta anteriormente. Así pues, esta técnica tenía dos variantes: con caja negra vacía o con elementos en su interior. Esta técnica se puso en práctica en dos sesiones de trabajo con cuatro grupos diferentes.

**Conclusión:** como resultado cada grupo dio entre tres y cuatro propuestas muy interesantes y bastante elaboradas. Parece que el método propuesto obtiene buenas ideas, con un alto grado de definición. No se suelen generar tantas ideas ni “tan locas” como en un brainstorming clásico, sino que se obtienen menos pero de mayor calidad, o sea, más “fácilmente realizables”. Estas ideas se obtuvieron en aproximadamente 2,5 horas. Gracias al nivel de definición de las ideas todos los participantes se sentían satisfechos por haber obtenido ideas de productos que podían llevarse a la práctica. Se observa que las soluciones propuestas por todos los grupos son totalmente diferentes con lo que parece que es un método que permite generar ideas.

### **1.1.8 Aplicaciones experimentales en entornos profesionales**

**Cuarta técnica aplicada:** Se realizó una aplicación en un entorno totalmente profesional. Se aplicó a un caso real: en un componente del automóvil. Se trabajó con personal de un Centro Técnico de alto nivel tecnológico. Participaron ocho personas de diferentes departamentos. Esta aplicación tuvo una duración de seis meses. Este periodo tan largo se debe a que la técnica estaba formada por varias fases. Primera fase: búsqueda de información (aumento de conocimiento); Segunda fase: sesión creativa de búsqueda de ideas a partir del conocimiento aportado en la fase anterior; Tercera fase: selección de las mejores propuestas.

Primera fase: tenía como objetivo principal formar un dossier técnico. Este dossier técnico debía contener toda la información disponible sobre el componente a innovar: pruebas realizadas, problemas encontrados, experiencias, estudios, análisis de la competencia, requerimientos técnicos, estudio de patentes existentes... Este dossier pretendía, además del conocimiento anterior, conseguir que los participantes que provenían de diferentes departamentos se agruparan en un objetivo común. Que formaran realmente “un grupo”. Se buscó de una forma clara que en las diferentes sesiones se fomentara la creatividad. Se permitía que los individuos dieran ideas, hicieran propuestas, transmitieran sus inquietudes, sentimientos, necesidades... Al final, no sólo se consiguió un dossier con mucho conocimiento compartido, sino que existía realmente un grupo de trabajo que además tenía cierta capacidad para generar ideas. Esta fase duró seis meses. Fue como una especie de “educación de trabajo en grupo”.

Segunda fase: Tras finalizar el dossier se hizo una sesión creativa a fin de generar nuevas ideas. La técnica aplicada era innovadora. La sesión de trabajo duró aproximadamente sesenta minutos. Se trabajó en dos salas colindantes (A y B). El total de individuos se dividió en dos grupos (G1 y G2). Trabajaron construyendo sobre las ideas de los demás. Se buscaban pocas ideas, pero con cierto grado de desarrollo. Debían emplear preguntas y respuestas rápidas e intuitivas. La sesión empezó con G1 en la sala A y G2 en la sala B. Pusieron sus ideas en la pizarra. Al cabo de 15 minutos, G1 pasó a la sala B y G2 a la sala A. Estos grupos, al cambiar de sala, se encontraron con soluciones diferentes a las que habían propuesto en las otras salas, pero, aún y así, debían construir sobre ellas. Al cabo de 10 minutos, ambos grupos G1 y G2, conjuntamente, fueron a la sala A. Ambos grupos debían de construir conjuntamente con la idea existente en la sala A. Al cabo de 10 minutos, ambos grupos fueron a la sala B. Debían repetir lo anterior, construir sobre la idea existente en la sala.

Tercera fase: todos los participantes conjuntamente analizan las propuestas planteadas y deciden cuales son las mejores. Aparecen dos propuestas, que se tomarán como base para estudiar en detalle internamente en la empresa y poder ver su viabilidad futura.

**Conclusión:** Está previsto patentar una de las propuestas aparecidas. El método parece que puede ayudar a generar ideas en un ambiente ingenieril. Es aceptablemente válido. Independientemente del número de ideas nuevas aparecidas, el método fomenta el ambiente de grupo y facilita la comunicación. Permite obtener un dossier consensuado por diferentes áreas y de alto nivel técnico. La gran interacción entre participantes facilita el aumento de conocimiento global entre áreas y la aparición de ideas novedosas consensuadas por todos. Se ha observado que esta técnica, basada en construir sobre las ideas de los demás, ha obtenido una alta calidad en las propuestas realizadas. Pueden llegarse a aplicar con cierta facilidad pues tienen un cierto grado de desarrollo. La idea de construir sobre las ideas de los demás es similar al “orden por fluctuaciones”, según el cual la idea primaria es una fluctuación que se realimenta por la energía aportada por el resto de participantes. Si esta fluctuación evoluciona lo suficiente, al final de la reunión la idea o fluctuación puede tener un tamaño tal que sobreviva “fuera” de la reunión y pueda llegar a aplicarse realmente. La idea es más rica y está más consensuada por los departamentos que la deberán de “juzgar”.

### 1.1.9 Resumen final simplificado

El modelo se ha aplicado en 4 técnicas diferentes, empleando 7 sesiones de trabajo realizadas en días diferentes. Con objeto de ver experimentalmente los resultados se han aplicado las técnicas diferentes en 13 ocasiones. Se ha trabajado con 48 individuos diferentes. Como estos individuos han trabajado en diferentes sesiones, equivale a un total de 95 participantes; lo que implica una media de 7,3 participantes/sesión. Se considera que este alto número de pruebas y participantes permite dar una aceptable base experimental a las conclusiones.

Parece que el modelo de creatividad simplificado expuesto puede servir en situaciones donde se requiera innovar. Puede emplearse de tres maneras: **Primero**, dado que se tienen identificadas algunas variables significativas, pueden “forzarse” diferentes maneras de potenciarlas. **Segundo**, pueden emplearse las técnicas de creatividad propuestas y aplicadas en la tesis, readaptándose de la manera más conveniente. **Tercero**, conociendo el modelo y diferentes formas de combinarlas, pueden buscarse nuevas técnicas de creatividad en entornos profesionales.

El modelo propuesto intenta servir de metodología de ayuda para generar nuevas ideas. De alguna forma, este modelo puede ser visto como una especie de “*máquina*” que ayuda a generar ideas. Esta máquina dispone de cuatro “*palancas*”: las variables del modelo. Actuando sobre estas palancas parece que puede potenciarse la creatividad. La metodología tiene dos niveles: el primero, más general, donde se muestra que actuando sobre las variables se puede potenciar la creatividad y dónde se exponen diferentes maneras de poder actuar sobre ellas directa o indirectamente y, la segunda, se aplica experimentalmente siguiendo métodos más concretos. El primer nivel más general permite aplicar el modelo de muy diferentes formas. La metodología de aplicación no es única: es abierta, por serlo sus variables; es flexible, pues depende totalmente del individuo que quiera aplicarla; y es general, pues puede adaptarse a cualquier situación.

La posibilidad de trabajar con el modelo parece que muestra, no sólo su viabilidad y alto potencial, sino que quien lo aplica dispone, sólo por este hecho, de un alto conocimiento de dónde se oculta una parte de la creatividad y de cómo potenciarla.

### **1.1.10 Breve Conclusión final**

Entre las *Conclusiones finales* de la tesis se encuentra que la creatividad es un sistema complejo, donde deben fomentarse los estados de “experiencia óptima” o de “flujo”. Existen ciertas evidencias de que el azar de alguna forma interviene en los procesos creativos. Parece que el juego puede emplearse como mecanismo de apoyo en la búsqueda de nuevas ideas. Parece que tiene sentido el modelo de creatividad simplificado propuesto. Este modelo en algunos casos ayuda a generar nuevas técnicas de creatividad. Parece que construir sobre las ideas de los demás mejora la “calidad” de las soluciones. Aumenta la interacción entre participantes también parece que mejora la calidad de las ideas aportadas. Emplear un lenguaje plástico puede mejorar la comunicación y generación de ideas. Parece que este modelo es fácilmente transmisible a otros individuos.

