

Generación de conocimiento para la competitividad a través de los sistemas de innovación tecnológica: jerarquización de diversas organizaciones a través de los métodos multicriterio de ayuda para la toma de decisiones

José Ramón Corona Armenta
Óscar Montaña Arango
Joselito Medina Marín*

Resumen

La innovación y la competitividad se encuentran estrechamente relacionadas, ya que representan la oportunidad de producir artículos, mejorar procesos o desarrollar servicios que le permitan a una empresa entrar, obtener un segmento, consolidarse o permanecer dentro de un mercado. La innovación tecnológica adquiere día a día una mayor relevancia. Sin embargo, es difícil determinar cuán innovadora es una empresa y poder compararla con otras empresas. Se propone determinar el potencial (capacidad instalada) de innovación tecnológica que tiene una organización. Este potencial relacionado con la innovación se determina a través de diversos métodos multicriterio para la ayuda en la toma de decisiones (MCDA, por sus siglas en inglés). Como base se utilizó el modelo de Boly, el cual establece que la innovación tecnológica en las organizaciones está determinada por 13 factores a los que denominó "Las trece prácticas del pilotaje de la innovación tecnológica en las empresas".

Abstract

Innovation and competitiveness are related closely, because they represent the opportunity to produce articles, to improve processes or to develop services that allow a company to enter, to obtain a segment, to consolidate or to remain in a market. Technological innovation, acquires day to day a greater relevance. Nevertheless, it is difficult to determine how innovating in a company and to compare it with other companies. Our proposition is to determine the potential (capacity installed) of technological innovation in an organization. This potential related to the innovation is determined through Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA). We use the Model of Boly, this model establish that technological innovation in organizations is determining by 13 factors, which it denominate "the thirteen piloting practices of technological innovation in companies".

Palabras clave: innovación, potencial, multicriterio, medición, jerarquía.

Keywords: innovation, potential, multicriteria, measurement, hierarchy.

* Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Centro de investigación Avanzada en Ingeniería Industrial.

Introducción

Escorsa y Valls (2001) indican que la innovación es el elemento clave que explica la competitividad. Innovación y competitividad van de la mano, pero no necesariamente una existe sin la otra. Además, la innovación está ligada a todos los niveles de competitividad de la pirámide y se puede aplicar en cualquiera de éstos.

La economía mundial se encuentra en una fase de transición en la cual los motores del crecimiento se encuentran en evolución. La competitividad y el empleo pasan ahora de manera crucial por la acumulación de conocimientos y por su movilización, de manera rápida y eficaz, dentro de los procesos de creación y de producción (Corona, Morel y Boly, 2005).

Por esto el desarrollo de nuevos productos, procesos o servicios, se convierte en un concepto vital de la economía moderna, en donde las empresas intentan ganar segmentos del mercado para acceder, quedarse, consolidarse, desarrollarse o simplemente sobrevivir. Al Estado y a diversas organizaciones les interesa la promoción de la innovación como fuente que moviliza la economía, además, estas instituciones públicas y privadas buscan fomentar la creación de sistemas y formas de innovación (Corona, 2005).

Las empresas están obligadas a innovar para sobrevivir, dejar de innovar significa ser alcanzado por sus competidores. La presión es mayor si se considera que los ciclos de vida de los procesos y productos se acortan constantemente (Escorsa y Valls, 2001).

La puesta en punto y la difusión de nuevas tecnologías representan una parte esencial en el crecimiento de la producción y de la productividad (OCDE, 1996). El avance de las tecnologías físicas continúa jugando un papel principal en el curso del crecimiento económico (Nelson y Nelson, 2002). La innovación determina la perennidad de las empresas asegurándoles beneficios de partes de mercado y la mejora de la productividad (Bougrain, 1999).

Las innovaciones científicas juegan un rol importante en nuestra sociedad desde hace siglos. Las variaciones en el contexto de los procesos de innovación llevan a una transformación radical de los sistemas de innovación (el conocimiento intensivo) en los cuales los intermediarios y la calidad de la interfase entre el usuario y los productores juegan un papel cada vez más importante (Smits, 2002).

Las industrias que enfrentan contextos altamente competitivos consagran una gran proporción de sus recursos a la investigación y desarrollo. Tienen tasas de

innovación más grandes. Se ha observado que la adversidad motiva la actividad innovadora (Raider, 1998).

Es en este impulso para el desarrollo de la innovación en las empresas en donde se deben tomar decisiones para determinar, con base en los recursos con que se cuenta, a qué organizaciones se les deben suministrar los medios económicos, financieros, técnicos o de otra índole que les permitan continuar y desarrollarse en el mercado.

Importancia del diagnóstico sobre innovación de la organización

Es necesario determinar la situación general que guarda la microempresa en materia de innovación. Esto lo podemos establecer a través de un diagnóstico. Para ello se pueden utilizar herramientas que permitan conocer el estado actual que guarda la empresa en materia de innovación. En nuestro caso, la forma de llevar a cabo este diagnóstico es con base en el modelo propuesto por Boly (2004) denominado las “trece prácticas fundamentales del pilotaje de la innovación en la empresa”, en el cual se determinan las acciones básicas que realizan las empresas en materia de innovación.

Pilotaje es la denominación que se da al arte de dirigir, maniobrar, conducir, guiar las acciones en un proceso. El pilotaje de la innovación consiste, entonces, en conducir los procesos de desarrollo basados sobre la novedad. Los objetivos del pilotaje son, más precisamente: las mujeres y los hombres como los actores del proceso, los proyectos como sistemas temporales para los cuales se crearon, la empresa como organización que genera e integra la novedad y, finalmente, las relaciones empresa-medio ambiente. El pilotaje de ese proceso ayuda a la mejora de la eficacia de la innovación.

Las categorías propuestas dentro del modelo

El modelo de Boly determina las características que debe tener una organización en cuento a innovación:

- P1. Los actores de la innovación aceptan y permiten la evolución de proyectos y de la tecnología a través de trabajos de concepción (diseño).
- P2. Un seguimiento de cada proyecto innovador es fundamental.

- P3. La supervisión global de los proyectos innovadores (presupuesto, plazo, etc.) debe ser manejada integrando la dimensión estratégica impulsada por la dirección
- P4. Al seno del portafolio de proyectos, la Dirección asegura la gestión de la coherencia entre las diferentes iniciativas.
- P5. Es necesario que la Dirección y los responsables del proyecto ejerzan control y retroacción sobre el proceso de innovación, para hacer evolucionar las prácticas de los actores.
- P6. Se implanta un contexto, una organización del trabajo favorable para estimular la innovación.
- P7. Trámites claros ayudan a asegurar las competencias necesarias para el proceso de innovación.
- P8. La dirección y los responsables de los proyectos deben brindar respaldo moral a los participantes en la innovación.
- P9. Es preciso que exista un aprendizaje colectivo de los actores, a la medida de la evolución de los proyectos.
- P10. Se debe asumir un esfuerzo de memorización del saber-hacer y de la experiencia adquirida en los proyectos pasados, en beneficio de los proyectos en curso y de los futuros.
- P11. Las tareas de vigilancia (tecnológica, metodológica y administrativa, inteligencia económica) son organizadas con el fin de abrir la empresa al exterior
- P12. La Dirección debe administrar las redes en las cuales está integrada la empresa.
- P13. Para que emerjan nuevos proyectos es necesario realizar una colecta permanente de ideas nuevas, resultado de la innovación, del mercadeo o de propuestas del personal.

Las empresas innovadoras desarrollan estas trece prácticas, de manera total o parcial, con mayor o menor pertinencia, de manera formal o sin organizar.

El cuestionario de diagnóstico

En sí, las prácticas fundamentales del pilotaje de la innovación en la empresa del modelo de Boly son las propiedades o cualidades de la innovación, las cuales son observables pero no se pueden medir. En la metodología que utilizó para medir

el potencial innovador de una empresa (Corona y Boly, 2003; Corona, 2005; Corona, Morel y Boly, 2005), Corona empleó un cuestionario como instrumento de medición, cuyo fundamento fueron las prácticas de la innovación del modelo de Boly.

Tabla 1
Las prácticas de la innovación tecnológica

<i>Prácticas de la innovación tecnológica</i>	<i>Preguntas</i>	<i>Peso</i>
Concepción (diseño)	20	38
Gestión de proyectos	11	3
Estrategia integrada	12	20
Gestión del portafolio de proyecto	8	1
Organización de tareas ligadas a la innovación	7	10
Retroacción sobre los procesos de innovación	5	2
Asegurar las competencias necesarias	5	1
Apoyo a la innovación	6	2
Memorización del saber-hacer	3	4
Vigilancia tecnológica	15	2
Funcionamiento en redes	18	2
Aprendizaje colectivo	6	5
Capitalización de ideas y conceptos	14	10
Σ	130	100

El cuestionario permitió obtener información detallada de cada práctica del pilotaje de la innovación, lo que se realiza a través de indicadores observables y que tienen la particularidad de medirse.

Debido a lo anterior, es posible utilizar este cuestionario como agente que nos permita acercarnos a la organización para conocer el funcionamiento y situación que guarda en materia de innovación.

En la tabla 1 se muestra un resumen del número de preguntas que se tienen para cada práctica de la innovación dentro del cuestionario, así como el peso asignado por un comité de expertos.

Una propuesta de medición de la innovación

Observamos que el desarrollo de la innovación en las empresas es muy importante, por muchas razones. Por una parte, la empresa quiere saber si sus acciones

en cuanto a innovación dan realmente resultados y, por otra, la existencia de organismos para promover el desarrollo de la innovación pretende también definir criterios de éxito en este aspecto. De hecho, se observa que existe a la vez una demanda de herramientas de evaluación, así como de un sistema de medición de la innovación que sea homogéneo. La medición de la innovación debe, sobre todo, ayudarnos a:

- Determinar el grado de desarrollo de una organización.
- Encontrar sus partes problemáticas.
- Comparar las empresas entre ellas.
- Analizar, y a su vez anticipar, el comportamiento temporal de una empresa.

Considerando los puntos precedentes, se propuso la creación de un algoritmo matemático cuyo objetivo es proporcionar un indicador de la innovación potencial de las empresas (Corona, 2005).

Los métodos multicriterio de ayuda para la toma de decisiones y la teoría de la medición

La teoría de la medición indica que es posible representar algunos tipos de información determinados con relación a algunos fenómenos, a través de un conjunto de valores numéricos que representan estos fenómenos. Las distintas definiciones de medición sugieren que los números asociados deben corresponder, representar o preservar algunas relaciones observadas. Si consideramos que en ayuda para la toma de decisiones un criterio conduce a asignar a las acciones potenciales un resultado sobre una determinada escala, entonces esta representación tiene por objeto tomar en cuenta un sistema de preferencias vinculado a una opinión dada. Cuando se ha hecho intervenir varias opiniones, el procedimiento de agregación multicriterio busca construir un sistema de preferencias global que tengan en cuenta todas las opiniones (Martel y Roy, 2002).

Podemos decir que es posible medir a través del MCDA. La forma de realizarlo y el método a utilizar dependen de los requerimientos y necesidades por cubrir. De manera general, es posible clasificar los métodos multicriterio de ayuda para la toma de decisiones en dos grandes categorías:

1. De agregación total.
2. De agregación parcial.

Agregación total. Los métodos de agregación total buscan una función de utilidad en la cual sea posible medir la utilidad total de la acción potencial. Estos métodos establecen una función-criterio para llegar a una agregación final monocriterio (Schärling, 1985). El conocimiento de los valores de cada función objetivo f_i para una alternativa dada x permite el cálculo de un valor (resultado) intrínseco para cada alternativa independientemente de los otros:

$$F(\text{score}(x)) = \sum_i w_i G_i(f_i(x)) \quad \text{con} \quad \sum_i w_i = 1$$

Donde:

G_i es la función de utilidad del criterio

F es la función del valor (*score*)

w_i es el peso normalizado (suma de todos los pesos = 1) del criterio i .

Agregación parcial. El valor (*score*) asignado a cada alternativa no puede ser independiente de las otras. Se compara cada una con todas las demás, con el fin de determinar cuál domina a qué otra alternativa. De la misma forma que para la agregación total, es posible observar la agregación parcial de dos maneras: compensatoria o no compensatoria.

El índice de innovación potencial

El postulado básico es que existen, como para todo proceso, características de la innovación susceptibles de ser identificadas y descritas pero que no son medibles. En este caso se utilizaron las trece prácticas fundamentales de la innovación determinadas por Boly (2004). Esas prácticas se pueden dividir en varias subcaracterísticas (indicadores observables e irrefutables), cada una de las subcaracterísticas (que tienen características medibles) puede también ser fraccionada independientemente, y así de manera continua, hasta determinar el elemento mínimo observable; es decir, se utiliza una forma de desarrollo por arborescencia. Al final, los elementos determinados en cada uno de los subniveles tienen una característica medible (Corona, 2005).

Esta medición se simplifica al considerar, para una primera etapa de investigación, que el método de base es de agregación total de tipo compensatorio.

Sin embargo, se hizo necesario poder comparar los resultados obtenidos en la determinación del Índice de Innovación Potencial (IIP), con otros elementos existentes que ya estuvieran consolidados, por lo que se recurrió a los métodos

multicriterio para la ayuda en la toma de decisiones (MDCA, por sus siglas en inglés).

Se propuso el siguiente algoritmo matemático, donde el objetivo es proporcionar un indicador de la innovación potencial de las empresas.

Desde el punto de vista de la innovación, esto da:

$$\text{Si } I \supset P; P \supset Q; Q \supset R \Rightarrow I \supset P \supset Q \supset R$$

Donde

I es la innovación en general (resultado y proceso)

P son las prácticas de la innovación

Q son las subcaracterísticas de P

R son las subcaracterísticas de Q

Para esta fase de la investigación se decidió considerar sólo el primer y el segundo nivel de estudio, es decir una práctica y sus subcaracterísticas asociadas:

$$\text{Si } I \supset P; P \supset Q \Rightarrow I \supset P \supset Q$$

Para la elaboración del índice se utilizó la función de utilidad, dada por:

$$F(\text{score}(x)) = \sum_i w_i G_i(f_i(x)) \quad \text{con} \quad \sum_i w_i = 1$$

Es decir se utilizó una metodología multicriterio de ayuda a la toma de decisiones, y específicamente el enfoque dado por las técnicas compensatorias de agregación total, basándose en la teoría de la utilidad multiatributo.

Definición de criterios (prácticas de la innovación)

Las prácticas se pueden dividir en varias subcaracterísticas, las cuales son los indicadores observables y medurables. Consideremos que por cada práctica **i** existe un número **j** de indicadores por determinar, y si cada indicador tiene un valor entre **0** y **1** inclusive (donde **0** indica que la variable no existe y **1** indica el valor máximo que puede tener la variable), con las consideraciones siguientes:

- Para cada una de las prácticas fundamentales de la innovación existe un grado de desarrollo **p_i** de cada una de las características observables.

- Existe un valor dado q_{ij} de cada criterio medible (o subpráctica), asociado a una práctica p_i .
- Cada valor dado q_{ij} tiene un elemento de diferenciación que depende de su importancia v_{ij} (el “peso”)

El criterio p_i se determina por:

$$p_i(x) = \sum_j^{m_i} v_j q_j(x)$$

Donde:

p_i es el grado de desarrollo de la práctica i para la empresa x , en la cual
 $0 \leq p_i \leq P_i$ $p_i \in \mathbb{R}$

q_{ij} es el valor dado a la variable j , situada entre 0 y 1 inclusive

v_{ij} es el peso determinado en función de la importancia de la variable q_j

m_i es el número de variables asociadas para la práctica i

j es el número de la variable

Agregación de los criterios (prácticas de la innovación)

Para la obtención del valor del desarrollo de la capacidad (o potencial) para innovar, que llamaremos IIP, proponemos integrar el conjunto de las prácticas en una ecuación única. Pero, si consideramos también que cada una de las prácticas tiene una diferente importancia, es decir que cada una entre ellas tiene un valor distinto —que se nombrará también “peso”— y que tendremos en cuenta w_i , se obtiene:

$$IIP = \sum_i^n w_i G_i(p_i) \text{ con } \sum_i^n w_i = 1$$

Donde:

IIP es el valor del potencial de innovación de una empresa, donde $0 \leq IIP \leq 1$ $IIP \in \mathbb{R}$

p_i es el grado de desarrollo de la práctica i ($p_i \in [0, P_i]$),

w_i es el peso determinado en función de la importancia de la práctica p_i

n es el número de prácticas fundamentales del pilotaje de la innovación

i es el número de la práctica.

Con las funciones de utilidad asociadas a cada práctica:

$$G_i(p_i) = \frac{p_i}{P_i}$$

El método de jerarquización analítica (AHP) y la técnica Electre

Después de una revisión de diferentes métodos multicriterio, se decidió que la comparación del IIP se realizara con AHP y Electre, selección que se determinó principalmente por sus características, además de considerarlos como parte de diferentes corrientes de investigación en los métodos multicriterio para la ayuda en la toma de decisiones; la primera, el método de jerarquización analítica, de la escuela anglosajona, y la segunda, la técnica Electre, de la escuela europea (Corona, 2005).

El método de jerarquización analítica (AHP). Sus características más importantes son la estructuración del problema como una arborescencia jerarquizada, y el funcionamiento con base en comparaciones binarias, tanto para estimar los pesos deseados entre los criterios por el responsable, como para las acciones, con el fin de obtener las evaluaciones de cada acción relativa a cada criterio (Pomerol y Barba, 1983).

Electre. El conjunto de las relaciones binarias de dominio conduce a un sistema de relaciones de preferencias que puede ser imaginado por un grafo orientado (x mejor que y, y mejor que z...) el análisis de este grafo permite reunir las alternativas en clases de equivalencia (de los mejores a los menos buenos, una clase puede no contener más que una única alternativa) (Sánchez, 2003).

Resultados para cada método

Se obtuvo información en 20 empresas de diferentes sectores y actividades. Se incluyeron los sectores de servicios, así como el gubernamental.

La determinación del índice de innovación potencial en las empresas seleccionadas, así como los resultados obtenidos de los pesos globales determinados por medio de AHP (método de jerarquización analítica) se muestran en la tabla 2.

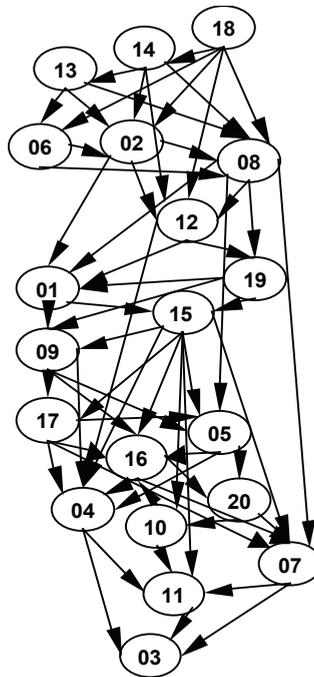
Tabla 2
Determinación del IIP en las empresas seleccionadas

<i>Empresa</i>	<i>IIP</i>	<i>AHP</i>	<i>Empresa</i>	<i>IIP</i>	<i>AHP</i>
E01	0.504	0.0567	E11	0.269	0.0263
E02	0.660	0.0731	E12	0.667	0.0664
E03	0.101	0.0125	E13	0.622	0.0673

<i>Empresa</i>	<i>IIP</i>	<i>AHP</i>	<i>Empresa</i>	<i>IIP</i>	<i>AHP</i>
E04	0.285	0.0365	E14	0.648	0.0700
E05	0.383	0.0373	E15	0.419	0.0458
E06	0.679	0.0762	E16	0.346	0.0357
E07	0.259	0.0292	E17	0.356	0.0367
E08	0.601	0.0643	E18	0.734	0.0849
E09	0.411	0.0401	E19	0.535	0.0622
E10	0.365	0.0352	E20	0.380	0.0437

Finalmente, se da un ejemplo de alguna de las gráficas paramétricas determinadas por medio de Electre (para ser más precisos, la técnica utilizada es Electre I), obtenida con valores $c=0.3$ y $d=0.8$ y que se aprecian en la figura 1.

Figura 1
Jerarquización para el potencial de innovación a través de Electre I



Comparación de la jerarquización del potencial de innovación por cada uno de los métodos utilizados

Después de obtener los resultados para cada una de las metodologías descritas, se presenta un resumen elaborado con la información obtenida para cada técnica empleada.

La jerarquización se realizó de la mayor a la menor calificación. En el caso particular de la técnica Electre se utilizaron varios gráficos paramétricas, algunas difieren de la muestra insertada en el presente trabajo.

Tabla 3
Jerarquización de las empresas por los métodos multicriterio

<i>Clasificación</i>	<i>IIP</i>	<i>Electre</i>	<i>AHP</i>	<i>Clasificación</i>	<i>IIP</i>	<i>Electre</i>	<i>AHP</i>
01	E18	E18	E18	11	E09	E09	E20
02	E06	E14	E06	12	E05	E17	E09
03	E12	E13	E02	13	E20	E05	E05
04	E02	E06	E14	14	E10	E20	E17
05	E14	E02	E13	15	E17	E10	E04
06	E13	E08	E12	16	E16	E16	E16
07	E08	E12	E08	17	E04	E04	E10
08	E19	E19	E19	18	E11	E11	E07
09	E01	E01	E01	19	E07	E07	E11
10	E15	E15	E15	20	E03	E03	E03

Conclusiones y perspectivas

La innovación y la competitividad se encuentran estrechamente ligadas. El conocimiento generado por su presencia en las organizaciones se vuelve una necesidad tanto en empresas como en los organismos encargados de promoverlas en el ámbito regional, nacional, internacional y mundial.

En el caso de la necesidad de conocer el estado en que se encuentra dentro de una empresa su sistema de innovación, se tiene que medir para determinarlo. Es por esto que la utilización de las metodologías multicriterio, específicamente el enfoque dado por las técnicas compensatorias de agregación total, basadas en la teoría de la utilidad multiatributo, permite obtener un sistema de medición.

En cuanto al IIP, la investigación se abre hacia un amplio espectro de posibilidades por explorar. Específicamente en nuestra investigación nos va a permitir evolucionar de la fase “potencial” a una fase de “utilización” de los elementos

del sistema de innovación, para posteriormente llegar a una fase de “efectividad” para innovar que tiene el sistema en cuestión.

Finalmente, la utilización de los métodos multicriterio como herramientas de medición abre una gran variedad de aplicaciones por realizar. Si además contemplamos la utilización de herramientas que permitan el manejo de bases de datos, la exploración con este tipo de métodos se diversifica enormemente. El límite de aplicación será dado por las propias necesidades del ser humano.

Bibliografía

- Boly, V. (2004). *Ingénierie de l'innovation organisation et méthodologies des entreprises innovantes*. París, Francia: Hermes Science Publications-Lavoisier.
- Bougrain, F. (1999). “Le processus d'innovation dans les PME”, *Revue Française de Gestion*, vol. 124, pp. 51-65.
- Corona Armenta, J. R. y V. Boly (2003). “Métrologie et systèmes d'innovation”, *10ème Seminaire CONFERE Innovation et Conception des Produits*. Belfort, Francia.
- Corona Armenta, J. R. (2005). “Innovation et Metrologie: une approche en terme d'indice d'innovation potentielle”. Tesis doctoral. Nancy, Francia : Institut National Polytechnique de Lorraine.
- Corona Armenta, J. R., L. Morel-Guimaraes y V. Boly (2005). “A methodology to measure the innovation processes capacity in enterprises”, *LAMOT 14th International Conference on Management of Technology*. Viena, Austria, 2005.
- Escorsa Castells, P. y J. Valls Pasola (2001). *Tecnología e innovación en la empresa, dirección y gestión*. Bogotá, Colombia: Alfaomega, pp. 15-25.
- Martel, J. M. y B. Roy (2002). “Analyse de la signifiacnce de diverses procédures d'agrégation multicritère”, *Annales du LAMSADE 1*. París, Francia: Université Paris-Dauphine.
- Nelson, R. R. y K. Nelson (2002). “Technology, institutions, and innovation systems”, *Research Policy*, vol. 31, pp. 265-272.
- OCDE (1996). *Manuel d'Oslo*. París, Francia.
- Pomerol, J. C. y S. Barba-Romero (1983). *Choix multicritère dans l'entreprise: principe et pratique*. París, Francia: Ed. Hermes (Collection Informatique).
- Raider, H. J. (1998). “Market structure and innovation”, *Social Science Research*, vol. 27, pp. 1-21.
- Sánchez Guerrero, G. N. (2003). *Técnicas participativas para la planeación*. México: Ediciones FICA.
- Schärlling, A. (1985). *Décider sur plusieurs critères, panorama de l'aide à la décision multicritère*. Lausana: Suiza. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes (Collection Diriger l'entreprise).
- Smits, R. (2002). “Innovation studies in the 21st century: questions from a user's perspective”, *Technological Forecasting & Social Change*, vol. 69, pp 861-883.