

## El rol de los valores numéricos de las medidas experimentales en el aprendizaje por indagación

Javier ARLEGUI DE PABLOS

Julia IBARRA MURILLO

Correspondencia:

Javier Arlegui de Pablos

Correo electrónico:  
arlegui@unavarra.es

Teléfono:  
+34 948169460

Dirección postal:  
Dpto. de Psicología y Pedagogía  
Universidad Pública de Navarra  
Campus Arrosadía  
31006 Pamplona/Iruñea  
(España)

Julia Ibarra Murillo

Correo electrónico:  
maider@unavarra.es

Teléfono:  
+34 948169493

Recibido: 8 de junio de 2009  
Aceptado: 18 de octubre de 2010

### RESUMEN

El aprendizaje por indagación en ciencias experimentales se entiende como un aprendizaje de resolución de problemas basado en la construcción y uso de modelos, y tiene actualmente su modelización didáctica en la teoría de las organizaciones praxeológicas. En este marco, los valores numéricos de las medidas juegan un papel preciso y de suma importancia; actúan como herramienta (útil) en la construcción semántica de las magnitudes del fenómeno, y como objeto de conocimiento en el proceso de modelización de dicho fenómeno. Se muestra esta doble función en el caso de la elasticidad de un resorte.

**PALABRAS CLAVE:** *Aprendizaje de ciencias, Modelos, Indagación, Praxeología.*

## The role of the numerical values of experimental measurements in Inquiry-Based Learning

### ABSTRACT

Inquiry-based learning is understood in experimental sciences as problem-solving learning based on the building and use of models. It currently has its didactic grounding in the theory of praxeology. Within this framework, the numerical values of measurements are of great relevance and play a key role: they act as a working tool in the semantic building of the magnitudes of the phenomenon and as the learning aim in the process of modeling the phenomenon. This double function is shown in relation to the elasticity of a spring.

**KEY WORDS:** *Science didactics, Models, Inquiry, Praxeology*

## 1. Un modelo para el aprendizaje escolar de las ciencias: el aprendizaje por indagación

Podríamos definir la indagación como *un proceso de cuestionamiento y de búsqueda interactiva de información en el mundo, como método de alcanzar el conocimiento y la verdad...*

El proceso de indagación se inicia con la recogida de información (datos) a través de los sentidos y/o de los instrumentos de medida para dar respuesta a un problema de carácter general que porta sobre el *sentido* que podemos atribuir al conjunto de datos, sobre un texto que *explique*, al menos, el cómo suceden dichos datos, una propuesta de síntesis sobre el *conocimiento* que nos aportan.

Los datos son, así, el soporte del conocimiento (EXLINE, 2004). Pero son precisamente las habilidades de los alumnos para debatir y construir el conocimiento a partir de los referentes empíricos, esto es, sus *habilidades indagatorias*, lo que la escuela debe promover como su objetivo primordial.

La escuela actual reconoce y propugna como modelo didáctico el aprendizaje por indagación, y en torno a él se basan importantes propuestas de renovación en enseñanza de las ciencias.

Uno de los grandes movimientos europeos contemporáneos para la revisión de la enseñanza de las ciencias es el Proyecto *La Main à la Pâte* cuyo nombre ha sido intencionalmente escogido para explicitar el carácter activo y experimental de la ciencia escolar que propugna.

El objetivo de este amplio movimiento es el de *“promover, en el seno de la escuela primaria, el proceso de investigación científica... (que los alumnos) construyan los conocimientos por la exploración, la experimentación y la discusión...”*. Se aprende ciencia *“por la acción, implicándose... confundándose... explicitando su punto de vista... y confrontándolo a los resultados experimentales para verificar su pertinencia y validez.”*

Un segundo ejemplo lo constituye el caso norteamericano, donde el *National Research Council* publicó en 1996 los *National Science Education Standards*, los cuales propugnan *“un aprendizaje de los contenidos científicos a través de la indagación/investigación (inquiry)”*, privilegiando la ciencia como proceso *“donde los estudiantes aprenden a observar, inferir y experimentar.. a describir objetos y eventos, plantear preguntas, construir explicaciones y contrastarlas con el conocimiento científico ya establecido...”*.

## 2. La indagación entendida como la resolución de problemas mediante la construcción y el uso de modelos

El énfasis que el aprendizaje por indagación hace sobre la construcción de conocimientos de carácter general que sean, además, conocimientos funcionales, hace que dicho aprendizaje de la ciencia entronque con el enfoque de la ciencia escolar que la concibe como una transposición didáctica de la ciencia *sabia*; *le savoir savant* de Chevallard (1999) o Johsua & Dupin (1993), de la que retiene aspectos epistemológicos básicos:

- la recopilación de *hechos* como base de nuestra experiencia,
- la *medida* como dispositivo de atribución de valores a los *rasgos* de las cosas y de los sistemas, lo que conocemos como propiedades, atributos o cualidades;
- la *medida cuantitativa*, con la asignación de numerales a los *grados* o *cantidades* de las magnitudes. Magnitudes que son las *cualidades variables o extensivas de los objetos* (longitud, masa, fuerza...);
- las *variables de estado*, parámetros o variables discriminativas de los estados de un fenómeno;
- las *leyes empíricas*, como la formulación de enunciados de carácter general que expresan relaciones invariantes entre las propiedades observables/mensurables de un fenómeno, y lo *modelizan* en un sistema formal;
- las *predicciones* deducidas de las leyes, relativas a casos determinados y que se formulan en el lenguaje de observación o de medida;
- las *teorías*, entendidas aquí simplemente como *leyes superiores* o *leyes de alto nivel* de las cuales cabe deducir otras leyes, de las que del mismo modo pueden deducirse otras leyes en

una cadena deductiva hasta llegar a las leyes empíricas y a los hechos que, finalmente, se deducen de las mismas.

Todo ello queda recogido cuando formulamos la actividad científica en el aula como un proceso de resolución de problemas basado en la construcción y aplicación de modelos, o de *resolución de problemas por modelización* tal como plantea Gascón (1994).

### 3. Un modelo para la representación de la ciencia a enseñar: las organizaciones praxeológicas

#### 3.1 DESCRIPCIÓN ESTÁTICA DE LAS PRAXEOLÓGÍAS

En este marco, presentaremos sintéticamente la noción de praxeología tal como aparece en Chevallard (1999) y la desarrollan Bosch & Gascón (2005); de todo ello nos interesará su aplicación a la actividad científica en la escuela.

Una praxeología es una estructura formal que constituye una visión integrada del *saber* y del *saber-hacer* sobre el mundo. Es una visión que recoge la doble vinculación de todo saber: con su referente *más teórico* que lo explica y con su referente *más práctico* del que es su explicación. La *descripción estática* de una praxeología se articula en torno a la descripción de términos tales como tarea, técnica, tecnología y teoría que exponemos a continuación.

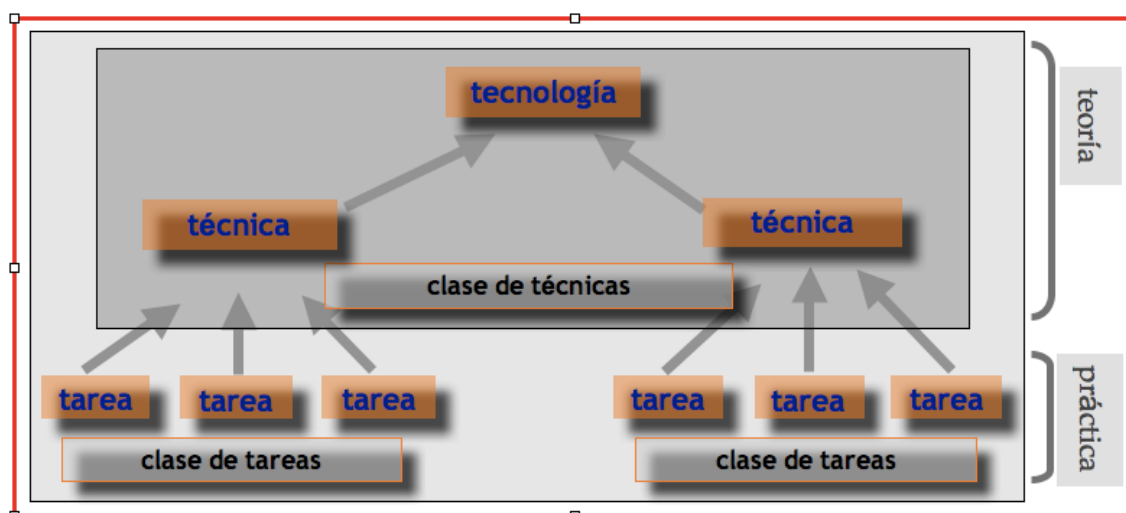
*Tareas.* En la raíz de la noción de praxeología se encuentran las nociones solidarias de *tarea* y de *tipo de tareas*. Una tarea, elemento primitivo de la teoría, se representa habitualmente por un verbo y corresponde a un concepto antropológico más amplio que el que el lenguaje corriente atribuye a una *acción* humana.

*Técnicas.* Una praxeología relativa a un tipo de tareas requiere una manera de realizar las tareas. A una determinada *manera de hacer* se le da, aquí, el nombre de *técnica* (del griego *tekhné*, saber hacer). Una praxeología relativa a un cierto tipo de tareas contiene, así, un bloque constituido por el tipo de tareas y su correspondiente praxeología, que se denomina bloque *práctico-técnico* y que se identifica con lo que comúnmente se denomina un *saber-hacer*.

*Tecnologías.* Se entiende por *tecnología* un discurso racional (el *logos*) sobre la *técnica* (la *tekhné*), cuyo primer objetivo es justificar racionalmente la *técnica* para asegurarse de que permite realizar el tipo de *tareas* que pretende.

*Teorías.* citando a Chevallard, “A su vez, el discurso tecnológico contiene afirmaciones más o menos explícitas, de las que se puede pedir razón. Se pasa entonces a un nivel superior de justificación–explicación–producción, el de la *teoría*, que retoma, en relación con la *tecnología* el papel que ésta última tiene respecto a la *técnica*”.

El estatus de lo que aquí denominamos como teoría es en realidad un ingrediente de abstracción progresiva, que *sube* y es creciente desde las tareas a las técnicas, las tecnologías y las teorías.



### 3.2 LOS RECORRIDOS PRAXEOLÓGICOS

Las praxeologías pueden construirse por dos caminos:

De *abajo arriba*, esto es, desde la práctica a la teoría, o desde una clase de textos al *metatexto* que los generaliza y que constituye su referente *explicativo*. Es el proceso *inductivo* de construcción progresiva de saberes cada vez más generales y teóricos. El reconocimiento y la resolución repetida de cada uno de los problemas de una misma clase permite inducir eventualmente una técnica común de resolución para dicha clase de problemas.

Téngase en cuenta que una tarea se resuelve, por definición, si se conoce la técnica correspondiente. En caso contrario (cuando todavía no se conoce la técnica) la tarea se presenta como problemática y se denomina, simplemente, un problema (que deberá resolverse por ensayo y error y/o por imitación).

Equivalentemente, el reconocimiento de las semejanzas y diferencias entre una clase de técnicas, permite eventualmente inducir una tecnología que las describe de modo unificado, etc.

De *arriba abajo*, esto es, de la teoría a la práctica, o desde un saber a sus aplicaciones y/o ejemplificaciones. Es el proceso deductivo de construcción de conocimientos de carácter progresivamente más particular. Si se posee el conocimiento significativo de una tecnología se puede, especificando los parámetros particulares de una técnica, obtener por deducción formal dicha técnica. Igualmente, a partir del conocimiento de una técnica puede deducirse la resolución de una tarea como un caso particular de los que *ejemplifican* dicha técnica.

### 3.3 LAS RELACIONES ENTRE LOS ELEMENTOS DE UNA ORGANIZACIÓN PRAXEOLÓGICA

Hemos descrito anteriormente la estructura estática y dinámica de las organizaciones praxeológicas. Queda ahora simplemente explicitar la naturaleza de los vínculos entre los distintos niveles jerárquicos en una praxeología.

Una técnica, por ejemplo, está vinculada *hacia abajo* con una clase de tareas y *hacia arriba* está vinculada a una tecnología.

Vemos que la relación *descendente* vincula a la técnica con su ámbito de *aplicación* y producción, con sus *ejemplificaciones* y los casos particulares, con los *hechos* que se deducen de la misma. Esta relación remite a la *validación empírica de la verdad* de la técnica: Si los *n* casos deducidos del *texto de la técnica* son empíricamente ciertos, la técnica mantiene su carácter de verdadera en la medida en que (todavía) no ha sido falsada...

Vemos que la relación *ascendente* vincula a la técnica con la tecnología. Según Chevallard (1999):

*“Se entiende por tecnología un discurso racional –el logos– sobre la técnica –la theknê–, discurso cuyo primer objetivo es justificar racionalmente la técnica  $\tau$ , para asegurarse de que permite realizar las tareas del tipo  $T$ , es decir, realizar lo que se pretende.”*

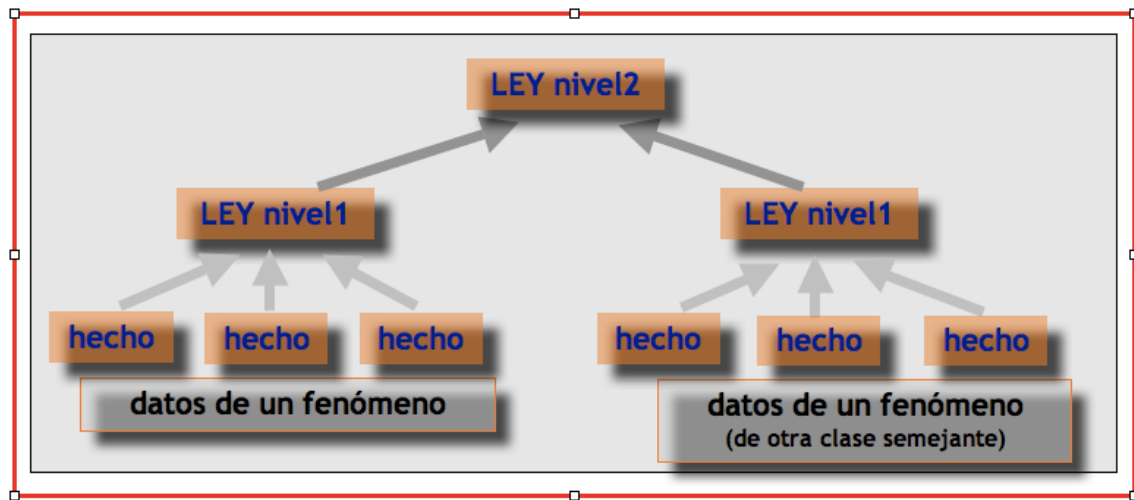
La tecnología tiene una función *justificativa*. Cabe señalar después, con Chevallard, que una segunda función de la tecnología es la de *explicar*, de *hacer inteligible*, de *aclarar* la técnica. Si la primera función –justificar la técnica– consiste en asegurar que la técnica da lo pretendido, esta segunda función consiste en exponer *por qué* es correcta. Finalmente, la tecnología tiene una función de *producción* de técnicas, al ser una generalización de las mismas.

## 4. Las praxeologías como base de una Didáctica en el ámbito de las Ciencias Experimentales

Las organizaciones praxeológicas nos permiten establecer un modelo para la actividad científica escolar.

En ciencias experimentales, las tareas coinciden con los *hechos*. Una clase de hechos constituye un *fenómeno*. La construcción de una técnica es la construcción (y formulación) de una *ley empírica*, experimental o de primer nivel. La construcción de una tecnología supone la construcción de una ley de segundo nivel (más general, más *abstracta*, en función de más variables...) que generaliza toda una clase de leyes de primer orden... Podríamos probar (lo que está fuera del objetivo de esta

comunicación) que la estructura de las organizaciones praxeológicas recoge en esencia, y modeliza, todas las características mencionadas anteriormente de la ciencia como un proceso de investigación.



Para el nivel escolar de la Educación Primaria se considera como suficiente la construcción de estructuras praxeológicas como las de la figura adjunta, donde en los recorridos ascendentes es suficiente con alcanzar una ley de nivel tecnológico. Se propone, igualmente, que los *recorridos de investigación* y de construcción de las leyes se inicien escolarmente *de abajo arriba*, por un proceso de *indagación (enquiry)* que es en esencia un proceso de *modelización*. Supone la actividad de exploración, por diferentes equipos de alumnos, de varias clases de fenómenos semejantes, que permitan inducir varias leyes técnicas y, finalmente (si el tipo de fenómeno y el nivel de desarrollo de los alumnos lo permite), inducir una ley tecnológica que las unifique.

#### 4.1 LA UNIDAD DIDÁCTICA BÁSICA EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

El núcleo didáctico mínimo de esta actividad de indagación es *la construcción inductiva de una ley técnica*.

Esta actividad modelizadora supone:

- La formulación de un *problema científico* como un problema relativo a una clase de hechos (constitutivos de un fenómeno), que desencadene el proceso de indagación;
- una etapa de *laboratorio experimental* (de *interacción exploratoria con el mundo*), en la que se recogen los datos de diferentes estados del fenómeno, esto es, los valores que las variables sistémicas toman en cada uno de los hechos que observamos relativos al fenómeno en estudio;
- una etapa de *laboratorio técnico* (lógico–matemático) (*de exploración formal de los datos experimentales*), en la que a partir de los datos del laboratorio precedente se formula y verifica una relación hipotética entre los mismos, para llegar a formular lo que conocemos como una ley (un saber técnico en la nomenclatura praxeológica).

#### 4.2 UNA PROPUESTA DE PROGRAMACIÓN DE UNA UNIDAD DIDÁCTICA DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

En este marco didáctico, la secuencia prototípica de *situaciones didácticas* que configuraría una unidad didáctica básica en Ciencias Experimentales sería la siguiente:

##### 1.– Formulación del problema:

##### 1.1.– Proposición inicial de un *problema a–didáctico*.

El profesor, en el aula, formula un problema, con base en la vida diaria (para asegurar la significatividad del problema para los alumnos), en relación con el *saber a enseñar* objeto de la unidad. El problema debe contener los nombres de las variables físicas en cuyos términos será finalmente construido el saber.

##### 1.2.– Reformulación del problema como un *problema científico*.

Se reformula el problema a–didáctico como un problema de conocimiento científico, que busca como solución la creación y aplicación de un modelo sistémico. Habitualmente se formula como la búsqueda de una relación entre variables.

1.3.– Devolución del problema a los alumnos:

El profesor propondrá a los alumnos asumir la solución del problema, trabajando por indagación experimental.

2.– Resolución del problema, *laboratorio 1*: adquisición y representación de la experiencia sobre el fenómeno (El laboratorio 1 es un laboratorio empírico, que permite una interacción exploratoria física con el fenómeno para su observación).

2.1.– Previsión de una posible etapa de exploraciones iniciales:

Los alumnos pueden desarrollar inicialmente una serie de exploraciones (*acciones*) por ensayo y error para tratar de adquirir experiencia inicial sobre el fenómeno y los dispositivos de medida.

2.2.– Observación sistemática de *estados* del fenómeno:

Una etapa de observación sistemática de una clase de *hechos* relativos al fenómeno, en la que los alumnos toman *datos*, asignando valores a las variables de estado del fenómeno. Con alumnos experimentados se debe tender a producir en esta etapa un verdadero diseño experimental con control de variables.

El resultado final es la formulación sistemática de textos descriptivos de estados particulares del fenómeno, expresados por escrito, mediante una tabla de datos y/o su correspondiente representación gráfica de *puntos* experimentales.

3.– Resolución del problema, *laboratorio 2*: modelización de los datos de la experiencia (El laboratorio 2 es un laboratorio informático, que permite una interacción exploratoria formal con los datos del fenómeno para su modelización).

3.1.– Modelización del fenómeno:

A partir de los datos del fenómeno, los alumnos tratarán de *formular hipótesis* sobre relaciones entre las variables que puedan ser invariantes en el conjunto de los datos y constituir un modelo del fenómeno. Y someterán dichas hipótesis a una *verificación operatoria* para su aceptación o rechazo.

3.2.– Institucionalización del saber:

El profesor, retomando ahora los saberes personales que han propuesto los alumnos, hará un trabajo de reformulación para producir con el conjunto de la clase *un texto canónico* con el texto definitivo del modelo.

4.– Uso del modelo para la solución de problemas de la misma clase:

Se usa ahora el modelo como herramienta para deducir nuevos hechos de la misma clase que los que se observaron en el Laboratorio 1.

5.– Generalización del modelo y discusión tecnológica. Solución de problemas de fenómenos análogos (eventualmente el del problema a–didáctico):

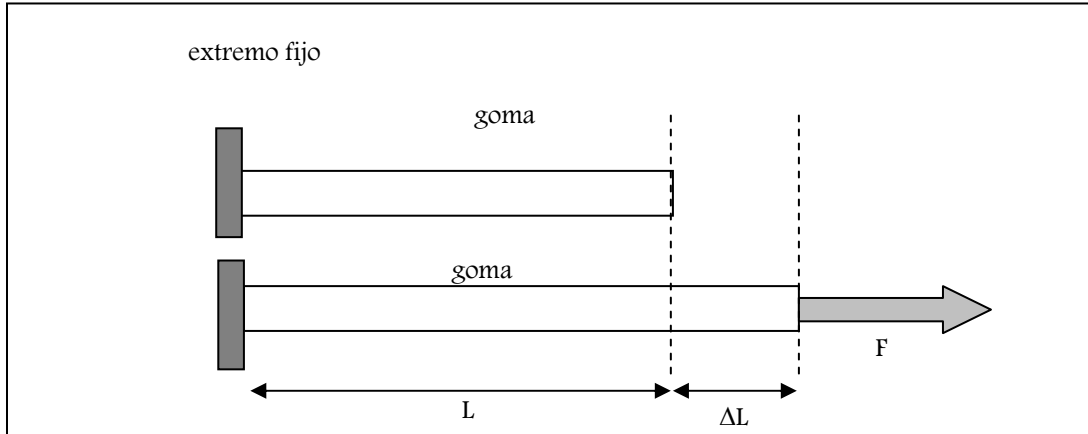
El profesor, y los propios alumnos, trabajarán otros problemas del mismo campo. De este modo, generalizarán el modelo inicial a una *clase de modelos semejantes*. Y si es posible, tratarán de tomar esa clase de modelos (técnicos) como objeto de estudio para su generalización empírica, construyendo así un modelo de nivel superior (tecnológico) que dé cuenta de todos ellos.

## 5. Un ejemplo: indagando la elasticidad de una banda de goma

A modo de ejemplo, extraemos, en lo que sigue, las fases de tratamiento de datos por los alumnos en una unidad de aprendizaje por indagación; sólo discutiremos aquí los epígrafes de la propuesta de programación 4.2 anterior que tienen que ver con el trabajo en los dos laboratorios: empírico y formal.

5.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA CIENTÍFICO:

¿Está relacionada la longitud que se estira una goma elástica ( $\Delta L$ ) con la fuerza ( $F$ ) con que tiramos de su extremo? ¿Puedes encontrar una relación  $\Delta L = f(F)$ ?



5.2 OBSERVACIÓN Y REPRESENTACIÓN DE SITUACIONES EXPERIMENTALES (LABORATORIO 1):

Nuestra variable independiente es  $F$ ; nuestra variable dependiente es  $\Delta L$ .

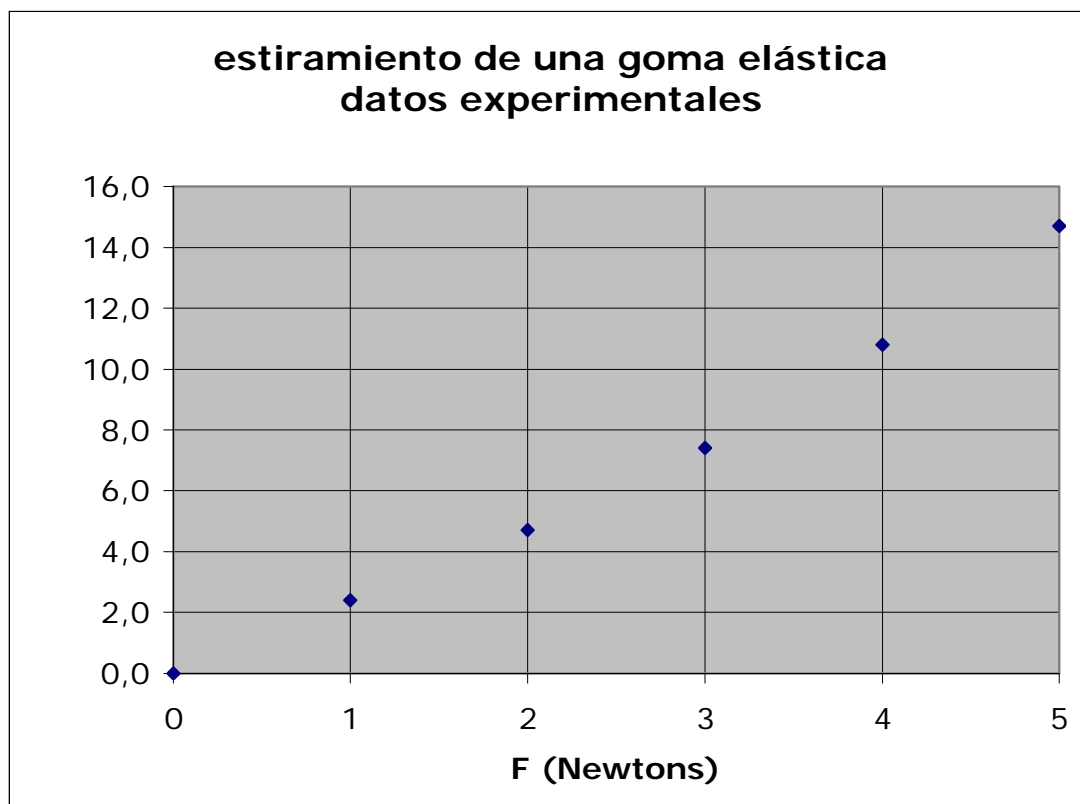
Realizamos una serie sistemática de experiencias en las que observamos los estiramientos de una goma elástica con distintos valores de la variable independiente  $F$ .

Hemos tomado los siguientes valores  $F = 1, 2, 3, 4$  y  $5$  Newtons.

Los resultados se muestran en la tabla siguiente:

$F$	$\Delta L$ exper
0	0,0
1	2,4
2	4,7
3	7,4
4	10,8
5	14,7

Y los hemos representado gráficamente en un diagrama de ejes  $F, \Delta L$ :



5.3 MODELIZACIÓN DE LAS REPRESENTACIONES (LABORATORIO 2):

Buscamos una función algebraica sencilla  $\Delta L = f(F)$  que reproduzca lo mejor posible los valores  $\Delta L$  experimentales anteriores.

Para ello llevamos los datos experimentales a una hoja *excel* y programamos relaciones funcionales entre F y  $\Delta L$  lo más sencillas posible que ajusten en lo posible a los datos experimentales.

5.3.1 Modelo lineal ( $y = k \cdot x$ )

De la tabla y la gráfica anteriores vemos que la tendencia de los datos es mantener una relación de proporcionalidad del tipo *a más... más*, esto es, a mayores valores de F, mayores valores de  $\Delta L$ . Probamos, por ello, una relación que sea estrictamente proporcional. Probamos la función lineal de proporcionalidad directa:  $\Delta L = k \cdot F$

Programamos esta relación en la hoja *excel* anterior, escribiendo el cálculo funcional de los valores  $\Delta L$  *teóricos* en una columna a la derecha de los valores  $\Delta L$  experimentales.

Probamos a ajustar los valores teóricos a los experimentales asignando a k distintos valores.

El resultado es que nuestra función lineal no ajusta todo el rango de los valores experimentales, y sólo podemos ajustar los valores iniciales con valores pequeños de F.

Ello se representa en la siguiente tabla y gráfica *excel*:

		$\Delta L = k \cdot F$
F	$\Delta L$ <i>exper</i>	$\Delta L$ <i>teórica</i>
0	0,0	0,0
1	2,4	2,4
2	4,7	4,8
3	7,4	7,2
4	10,8	9,6
5	14,7	12,0





La mejor aproximación se consigue para  $k = 2,4$ , siendo nuestro *modelo* lineal de estiramiento (que se conoce como Ley de Hooke) para nuestra goma:  $\Delta L = 2,4 * F$

En este momento los alumnos han construido una *praxeología local* con un modelo lineal para el proceso de elongación de la goma.

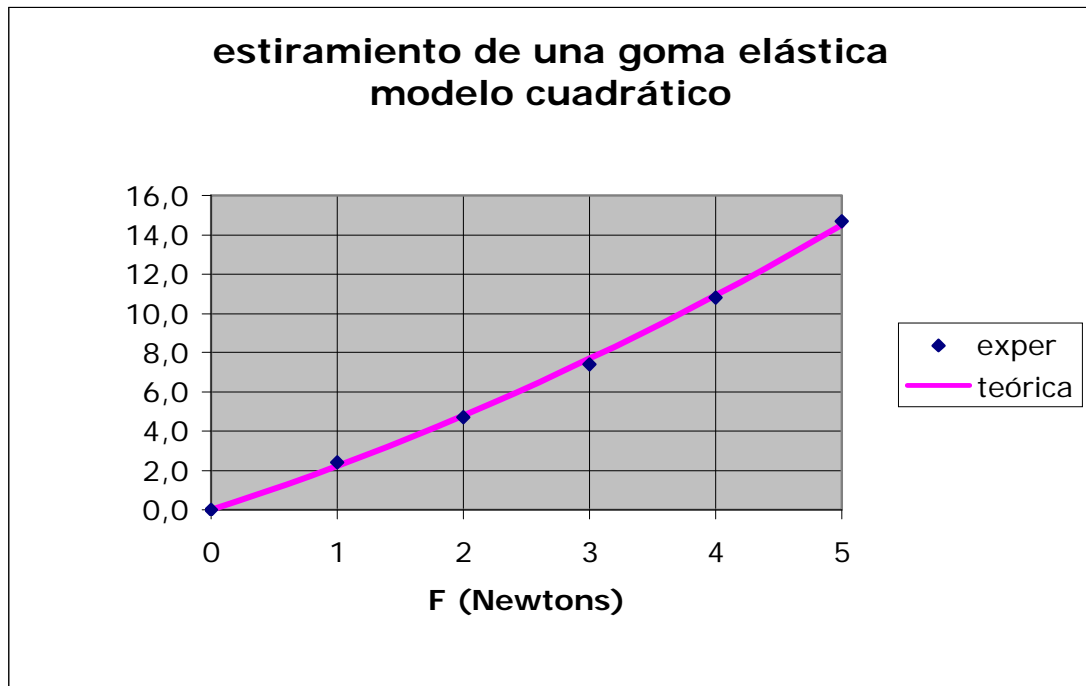
La discusión tecnológica posterior, sobre la insuficiencia del modelo para los valores superiores de la fuerza, lleva a tratar de mejorar la *técnica* anterior, con una *técnica ampliada*: la hipótesis cuadrática.

### 5.3.2 Modelo cuadrático ( $y = k_1 * x + k_2 * x^2$ )

Probamos ahora a ajustar a los datos experimentales un función cuadrática:  $\Delta L = k_1 * F + k_2 * F^2$

Calculamos en una hoja *excel* los valores teóricos de  $\Delta L$  según esta expresión, obteniendo los resultados de la tabla y la gráfica siguientes:

		$\Delta L = k_1 * F + k_2 * F^2$	k1=	2,05
F	ΔL exper	ΔL teorica	k2=	0,17
0	0,0	0,0		
1	2,4	2,2		
2	4,7	4,8		
3	7,4	7,7		
4	10,8	10,9		
5	14,7	14,5		



Este ajuste se consigue para  $k_1 = 2,05$  y para  $k_2 = 0,17$ , obteniendo:

$$\Delta L = 2,07 * F + 0,17 * F^2$$

un modelo cuadrático que ajusta muy bien todo el rango de valores experimentales.

## Conclusión

En definitiva, las organizaciones praxeológicas nos permiten diseñar un modelo de actividad científica experimental para la escuela, que lleva a los alumnos a la construcción de una ley o de una teoría sobre el fenómeno o el hecho que investigamos. Con estos modelos se consigue una secuencia de trabajo para los alumnos (los escolares o nuestros alumnos de Magisterio) que va desde la interacción con objetos físicos (la goma elástica en nuestro ejemplo) para construir saberes técnicos, hasta la elaboración de los saberes teóricos que explican el fenómeno.

## Referencias bibliográficas

- BOSCH, M. & GASCÓN, J. (2005). "Twenty-Five Years of the Didactic Transposition". *ICMI Bulletin* 58.
- CHEVALLARD, Y. (1999). "El análisis de las prácticas docentes en la teoría antropológica de lo didáctico". *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol. 19, 2: 221-266.
- EXLINE, J. (2004). *Workshop: Inquiry-Based Learning*. Educational Broadcasting Corporation.
- GASCÓN, J. (1994). "El papel de la Resolución de Problemas en la Enseñanza de las Matemáticas". *Revista Educación Matemática*, 6, 3: 37-51.
- JOHSUA, S. & DUPIN, J. J. (1993). "Introduction à la Didactique des Sciences et des Mathématiques". Paris: Presses Universitaires de France.
- LA MAIN A LA PATTE: <http://www.inrp.fr/lamap/accueil.html>.
- NATIONAL SCIENCE TEACHING ASSOCIATION: <http://www.nsta.org/standards>.