

## **Novatos exitosos: un análisis de resoluciones de un problema de olimpiada de Física**

**Enrique A. Coleoni<sup>1,2</sup>, Zulma E. Gangoso<sup>1</sup> y Víctor H. Hamity<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Facultad de Matemática, Astronomía y Física. Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.

<sup>2</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Argentina. E-mail: [ecoleoni@famaf.unc.edu.ar](mailto:ecoleoni@famaf.unc.edu.ar)

**Resumen:** Se analizan las resoluciones de un problema de calorimetría y electricidad, resuelto por 80 sujetos en ocasión de una olimpiada de Física. Las resoluciones son categorizadas según diferentes indicadores. Uno de ellos, un indicador externo de desempeño (*performance*) en términos de estándares de una competición, permite definir resoluciones exitosas o no exitosas. Se propone una dimensión "Disciplinar" para el desempeño, atendiendo a elementos de tipo conceptual y operativos. También se definen indicadores sobre la base de estudios del comportamiento de expertos y novatos. Se analizan los resultados de las categorizaciones, lo cual permite describir algunas características de los sujetos que resuelven, los cuales presentan mayoritariamente comportamientos propios de novatos aún en el caso de resultar exitosos. Se hacen consideraciones acerca de los indicadores que pueden utilizarse en el aula a la hora de evaluar la pericia de los alumnos en la tarea de resolver problemas.

**Palabras clave:** Resolución de problemas, indicadores de desempeño, exitoso-no exitoso, experto-novato.

**Title:** Successful novices: analysis of solutions to a problem in a Physics Olympiad.

**Abstract:** The solutions to a problem involving calorimetric balance and electricity are analyzed. This problem was solved by 80 students participating in a Physics Olympiad. Solutions are categorized following different criteria. One of them is an external performance index, such as the standards employed in a competition, enabling the classification of solutions as successful or non-successful. An "Instructional" dimension is proposed for the analysis of performance, attending to the presence/absence of conceptual and procedural elements. Indicators are also designed on the basis of results from studies on the differences between experts and novices. The results from the different categorizations allow for the description of certain characteristics of the solvers as well as considerations regarding the indicators that can be used in Physics classrooms to evaluate students' proficiency in the problem-solving task.

**Keywords:** Problem solving, performance indicators, successful-non successful, expert-novice,.

## **Introducción**

La resolución de problemas es un tema de interés tanto para la investigación educativa como para la práctica profesional de la enseñanza. Hace ya más de 50 años su estudio fue abordado por Polya (1945), quien elaboró una propuesta para enseñar a resolver problemas de matemática, en la que distingue diferentes etapas para la tarea. Esta formulación secuencial fue elaborada sobre la base de observaciones de un conjunto de sujetos que resolvían problemas de matemática y fue considerada como base para numerosos trabajos posteriores sobre resolución de problemas.

Los avances en psicología cognitiva, particularmente a partir de la década del 80, permiten interpretar la complejidad del proceso puesto en juego durante la resolución de un problema. En particular, los estudios que toman como factor explicativo al sujeto dan lugar a una línea de investigación denominada *diferencias entre expertos y novatos*. Se intenta dilucidar, para cada disciplina en particular, de qué forma la experiencia y los conocimientos específicos de la disciplina afectan a la solución de un problema en esa área. De esta línea se desprende un conjunto de estudios que se interesa por las representaciones internas y procesos generados en esos sujetos ante una situación.

En el área de física es necesario destacar entre los pioneros los trabajos de J. Larkin (Larkin, 1980; Larkin et al, 1980, 1983), quien además de describir las representaciones generadas en sujetos expertos y novatos, muestra de manera concluyente que es la representación interna la que guía el proceso de solución.

En el presente trabajo se asume que sujetos expertos son aquellos que (Bransford et al, 1999; Leonard et al, 2002):

- Son capaces de notar patrones de información significativos que pasan desapercibidos para los novatos.
- Poseen un cúmulo importante de conocimiento disciplinar, el cual está organizado, y cuya organización refleja una comprensión profunda del mismo.
- Poseen un conocimiento que no se puede reducir a porciones aisladas sino que refleja contextos de aplicabilidad, i.e. está condicionado.
- Son capaces de recuperar aspectos importantes del conocimiento que tienen sin que esto plantee una demanda atencional fuerte.
- Conocen su disciplina exhaustivamente, aunque esto no garantice su capacidad para instruir a otros sobre el tema.

Los expertos poseen un conocimiento conceptual jerárquicamente organizado, conjuntamente con un manejo apropiado de procedimientos y operaciones, ligados éstos a un conocimiento de situaciones físicas para cuya descripción estos conceptos resultan relevantes.

Estas características de la estructura de su conocimiento les permiten a los expertos desplegar estrategias de resolución sobre la base de conceptos, leyes y principios. De esta manera logran representar las situaciones propuestas en los problemas de manera abstracta y el uso de tales leyes

favorece tanto la comprensión de la situación, como el progreso en la resolución. Estas habilidades permiten que los expertos exhiban resoluciones denominadas "hacia delante" (Forward). Apuntan a crear una "representación física" del problema, que "embebe" los objetos y eventos descritos en la situación, en conceptos, leyes y principios, dando lugar a modelos físicos abstractos.

Los sujetos novatos, que disponen de piezas de conocimiento menos vinculadas entre sí, recurren más frecuentemente a características superficiales para guiar su proceso de resolución. Recuperan esquemas de resolución sobre la base de elementos concretos que aparecen en los problemas, y deciden en cada paso de la resolución a qué "fórmula" recurrir para despejar alguna incógnita. En esta modalidad, denominada "hacia atrás" (backward), establecen metas y sub-metas parciales, que son las que estructuran la resolución. El objetivo de cada sub-meta es obtener un valor parcial que es sustituido en la sub-meta previa hasta llegar al valor "incógnita".

Estas maneras diferentes de desplegar las herramientas de resolución, ya sea guiadas por principios y leyes generales (Forward) o por disponibilidad de valores conocidos para efectuar cálculos (Backward) son evidencias de la organización del conocimiento de los sujetos y permiten por lo tanto diferenciar a sujetos expertos de novatos.

Si bien las diferencias entre expertos y novatos son claras en cuanto a la calidad del conocimiento del que disponen los sujetos, es difícil caracterizar a sujetos como expertos o novatos "a priori" según estos criterios. En general, los sujetos con mayor grado de instrucción tienen una estructura de conocimiento más ordenada y jerarquizada y son también los que presentan mejor nivel de desempeño (*performance*). Sin embargo, debe notarse que esto significa que es de esperar que sujetos "expertos" muestren un desempeño "exitoso" en la tarea de resolución de problemas, pero no necesariamente la afirmación recíproca.

Algunos trabajos han abordado las diferencias entre los desempeños de sujetos con diferente grado de pericia. Tal es el caso de De Jong & Ferguson-Hessler (1991) y Savelsberg et. al. (2002). En estos trabajos los autores estudian ciertas características del conocimiento situacional para sujetos que, si bien todos novatos, presentan diferentes grados de desempeño académico. Los autores encuentran que las diferencias entre novatos con diferente grado de pericia no son necesariamente del mismo tipo que aquellas encontradas entre expertos y novatos.

El conjunto de sujetos que han resuelto el problema analizado en el presente estudio está conformado por alumnos de nivel secundario, que se han preparado de manera específica para una competencia. Aún conservando características generales propias de sus coetáneos, constituyen un conjunto de sujetos particularmente motivados para resolver problemas. Estos sujetos, además, han superado exitosamente etapas previas de evaluación. Se entiende que caracterizar las resoluciones de estos alumnos podrá acercarnos a dar respuestas a interrogantes como:

*¿Existen características propias de los resolutores exitosos? En caso de que así sea, ¿es posible tipificarlas?*

*Los resolutores exitosos, independientemente de su nivel de instrucción, ¿manifiestan comportamientos observados en expertos?*

*¿En qué medida son distinguibles entre sí las dimensiones Experto-novato y exitoso-no exitoso?*

Para el caso de los sujetos del presente estudio, participantes de una olimpiada, estaríamos acercándonos a entender por qué estos alumnos logran superar estas pruebas exitosamente. Esto nos ayudará a conocer en qué medida es posible distinguir a sujetos exitosos y cuáles características de su conocimiento les permite lograr buenos desempeños en la resolución de problemas. Diferenciar entre características de las dimensiones exitoso/no exitoso y experto/novato permitiría definiciones más claras de objetivos educacionales en el área.

### **El estudio**

En el presente estudio se aborda el análisis de las resoluciones escritas de un problema de lápiz y papel, parte de la denominada "prueba teórica", llevadas a cabo por 80 estudiantes secundarios participantes en la instancia Nacional de las Olimpiadas Argentinas de Física. Todos los sujetos que componen esta muestra, de tipo accidental, han superado con éxito, como mínimo, una etapa de selección regional previa, elaborada por un conjunto de expertos. Participan del estudio 14 mujeres y 66 varones, cuyas edades oscilan entre 16 y 18 años. El enunciado del problema que los sujetos resolvieron, fue asimismo redactado, analizado y resuelto por un Comité de Problemas integrado por profesores (licenciados y doctores en Física) de la Universidad.

Se realizó primeramente un estudio piloto con 20 resoluciones que fueron analizadas por dos investigadores de manera independiente, y luego, sobre la base de las coincidencias entre estos análisis previos, se acordó en la definición de Los indicadores que componen cada una de las siguientes dimensiones:

#### *La dimensión "exitoso-no exitoso"*

Se utilizó un indicador externo al presente estudio, como lo es la calificación (de 0 a 10) asignada a las pruebas, sobre la base de criterios consensuados por un conjunto de 6 o más Licenciados/Doctores en Física, dedicados a tareas de investigación y docencia, que integran el Comité de Corrección. Se define "Nota de la Olimpiada" (N-O), a la calificación otorgada por el Comité de Corrección al problema seleccionado. Sobre esta base, las resoluciones son categorizadas como "resolución exitosa" cuando el correspondiente valor de N-O es igual o superior a 6 puntos. Las resoluciones que presentan un valor de N-O menor a 6 son categorizadas como "no-exitosas". Esta clasificación responde a un criterio básicamente de desempeño, según el cual sujetos exitosos son aquellos que satisfacen los estándares establecidos en la competencia.

Problema: Tomemos un buen mate<sup>2,3</sup>

Un señor decidió tomar mate. En un recipiente colocó un litro de agua a 20 °C y sumergió en ella un calentador eléctrico conectado a 220 V. Como deseaba calentar el agua hasta una temperatura de 80 °C exactamente (porque la considera óptima para tomar mate) calculó el tiempo necesario para alcanzarla, para lo cual midió la resistencia del calentador sumergido en el agua y obtuvo  $R = 38\Omega$ .

- Sabiendo que el recipiente utilizado pierde el 20% de la energía que se le entrega, ¿cuánto tiempo dejó el señor el calentador conectado a la línea de 220 V para que la temperatura del agua llegue a los 80 °C deseados? (el calor específico del agua es  $c = 1 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$ )
- Grande fue la sorpresa cuando al cabo del tiempo calculado comprobó que la temperatura del agua era menor que 80 °C. Midió entonces nuevamente  $R$  con el calentador sumergido en el agua caliente y comprobó que ésta había aumentado. Para mejorar sus cálculos midió nuevamente la resistencia del calentador a tres temperaturas diferentes y sobre la base de esas mediciones supuso que entre 20 °C y 40 °C,  $R = 38\Omega$ ; entre 40 °C y 60 °C,  $R = 44\Omega$  y entre 60 °C y 80 °C,  $R = 50\Omega$ ;
- Calcule el nuevo tiempo que obtuvo el señor.
- Repitió la experiencia esperando el tiempo calculado en el punto b) y midió la temperatura obteniendo nuevamente un valor menor a 80 °C. Como ya había observado cambios de la resistencia del calentador con la temperatura, decidió realizar un mayor número de mediciones, a partir de 20 °C, aumentando cada vez la temperatura en pequeños saltos y obtuvo que la resistencia variaba con la temperatura de acuerdo a la ley mostrada en el gráfico. Represente, en ese mismo gráfico, los valores de la resistencia en función de la temperatura, utilizados en los puntos a) y b).
- A partir de los valores de  $R$  medidos en el punto anterior, calcule ahora el tiempo exacto que hay que esperar para elevar la temperatura del agua de 20 °C a 80 °C, suponiendo que en cada momento la temperatura del agua es igual a la temperatura de la resistencia del calentador.

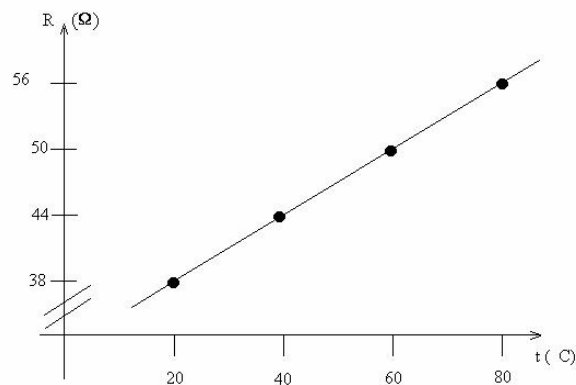


Gráfico del Problema

DATOS: La densidad del agua se puede suponer constante con la temperatura e igual a  $1\text{g/cm}^3$ ;  $1\text{cal} = 4.2\text{J}$

<sup>2</sup> Agradecemos la colaboración del Comité Organizador Ejecutivo de la Olimpiada Argentina de Física al facilitarnos el material para analizar.

<sup>3</sup> Este problema fue propuesto al Comité Organizador Ejecutivo por la Dra. Nésvit Castellano.

Figura 1.- El problema analizado.

### *La dimensión "disciplinar"*

Como esta N-O fue asignada por un conjunto de expertos ajenos a este estudio, se definieron además, dos indicadores que pretenden dar cuenta de cuáles son las características de las resoluciones que resultan ser exitosas o no exitosas. Estos indicadores se proponen sobre la base de criterios normalmente utilizados para evaluar a alumnos en el ámbito de la enseñanza formal. Vinculan ciertas características de las resoluciones con elementos del conocimiento de los sujetos. Por ello, están definidos en términos estrictamente vinculados al problema en cuestión, el cual se presenta en la figura 1. Estos índices, que serán detallados a continuación, conforman una dimensión que llamamos "disciplinar", que se propone como complemento de la dimensión exitoso/no exitoso.

Los indicadores de la dimensión Disciplinar se definen de manera vinculada al problema particular. Se tiene en cuenta que éste requiere utilizar conocimientos sobre los conceptos de cantidad de calor, temperatura, balance energético, equivalente mecánico del calor y potencia eléctrica disipada por una resistencia. En los aspectos procedimentales, además del álgebra elemental, la solución del problema presupone la utilización del concepto de función lineal y lectura de gráfica correspondiente.

Se definen entonces, los índices "Conceptual"(C) y "Procedimental"(P) según los siguientes criterios:

Para obtener el índice "conceptual" (C) se valora la presencia/ausencia (en las pruebas escritas) de:

- a) Evidencias del balance entre la energía entregada por la resistencia y el calor necesario para elevar la temperatura del agua;
- b) Consideraciones concretas de una pérdida del 20 % de la energía entregada por la resistencia;
- c) Una diferenciación conceptual entre la temperatura del agua y el calor necesario para modificarla (relación entre calor entregado y saltos de temperatura);
- d) Indicios de conocer el concepto de potencia entregada por una resistencia cuando circula corriente por ella.

Con estos criterios se determinan, respectivamente, los niveles: Ca, Cb, Cc y Cd. A estos niveles se les asigna, respectivamente, los pesos 2,1,1 y 1. Posteriormente se normaliza a 10, obteniéndose así para cada participante, una valor C comprendido entre 0 y 10. (La normalización consiste en dividir el puntaje asignado por el máximo posible y multiplicar por 10).

Para el valor del índice denominado "procedimental" (P), se tienen en cuenta básicamente procedimientos de tipo matemático, vinculados a los conceptos involucrados en el problema. Estos son:

- a) La correcta incorporación de la pérdida del 20 % de la energía entregada en los cálculos llevados a cabo
- b) Utilización de la forma funcional lineal de  $R(T)$
- c) Correcta incorporación en el gráfico de la representación de R como función de la temperatura.

Con estos criterios se elaboran tres niveles: Pa, Pb y Pc. A estos niveles se les asigna, respectivamente, los pesos 2,1 y 2. Posteriormente se normaliza a 10, obteniéndose un valor para P, comprendido entre 0 y 10. (La normalización consiste en dividir el puntaje asignado por el máximo posible y multiplicar por 10)

Estos dos índices, a los fines del análisis, son resumidos además, en un único indicador "Nota del Estudio" (N-E) que resulta del promedio aritmético entre C y P.

Para ilustrar el modo en que se asignaron los valores a los indicadores C y P, se ofrece un ejemplo en la figura 2. (Se ha optado por una transcripción de la resolución dado que la poca calidad que se pudo lograr en la imagen escaneada).

<p>Sujeto T1b06</p> <p>Este sujeto comienza la resolución escribiendo "Efecto Joule", y haciendo un dibujo de la situación, sobre el cual escribe leyendas del tipo "supongo corriente continua".</p> <p>A continuación, escribe una ecuación en la que iguala el calor necesario para elevar la temperatura de 1 litro de agua en 60 °C con la potencia disipada por una resistencia multiplicada por un tiempo incógnita. Al hacer esto, escribe: <math>(V \cdot i \cdot \Delta t - 20\%)</math>, y aclara: "(a la energía que le entrega le debo sacar el 20%)". Sin embargo, no aparece ningún término de corrección, ni factor que tenga esto en cuenta, de modo que todos sus cálculos reflejan una situación en la cual el recipiente que contiene el agua es adiabático.</p> <p>En la segunda parte del problema, cuando debe hacer uso de un valor de resistencia que no es constante, utiliza los valores del gráfico para obtener, promediando entre <math>R=38\Omega</math> y <math>R=56\Omega</math>, el valor medio de R. Sin embargo, no puede incorporar correctamente esta información en el gráfico, como se lo pide el problema.</p> <p>Para asignar el valor de C y P a esta resolución, se procede de la siguiente manera:</p> <p>Ca: Sí: (2 puntos) Cb: Sí: (1 punto) Cc: Sí: (1 punto) Cd: Sí: (1 punto) Total: 6 puntos. Normalizando a 10: <math>(6/6 \cdot 10)</math> C=10</p> <p>Pa: No: (0 puntos) Pb: Sí: (1 punto) Pc: No: (0 puntos) Total: 1 puntos. Normalizando a 10: <math>(2/5 \cdot 10)</math> P=2</p>
---

Figura 2.- Un ejemplo de asignación de valores para C y P.

#### *La dimensión "experto-novato"*

Cada problema fue analizado con el objeto de caracterizar el tipo de estrategia desplegada por los sujetos, analizando si corresponden a soluciones "hacia adelante" o "hacia atrás", dando lugar al indicador "TIPO", asignándosele el valor "F" (forward) o "B" (backward), respectivamente.

En la tabla I, se presenta un resumen de los indicadores definidos para el estudio.

Exitoso- No exitoso	N-O (Nota Olímpica)	
	Exitosos: $N-O \geq 6$ ; No Exitosos: $N-O < 6$	
Disciplinar	C (Conceptual)	P (Procedimental)
	Índice entre 0 y 10	Índice entre 0 y 10
	Resumidos en N-E (nota estudio; promedio entre C y P)	
Experto - Novato	TIPO	
	F (forward)	B(backward)

Tabla 1.- Resumen de los indicadores definidos para las dimensiones Exitoso - No Exitoso, Disciplinar y Experto – Novato.

### Resultados

Las resoluciones fueron categorizadas, asignándose valores a los indicadores de las dimensiones propuestas para el análisis.

En la Tabla II, presentada en el Anexo, se muestran los registros obtenidos sobre el total de las 80 pruebas, para los indicadores descriptos en el apartado anterior.

Del total (80 alumnos), el 71 % (56) aborda y completa la solución del problema. De éstos, el 53% (30 sujetos) obtiene para N-O una valor mayor o igual a 6. Estas soluciones, que se categorizan como "exitosas", representan el 37% del total. Las soluciones "no exitosas" ( $N-O < 6$ ), se pueden dividir a su vez en dos subconjuntos: un grupo de 24 alumnos que no abordan la solución (30% del total) y 26 alumnos que sí lo hacen (33% del total)(ver figura 3).

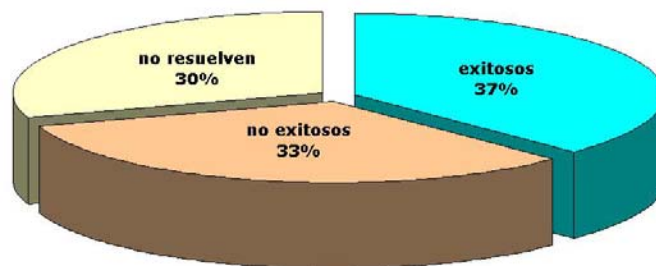


Figura 3.- Distribución de las resoluciones.

Los resultados se presentan referidos a tres grupos diferentes:

- El total de alumnos que resuelven (56 sujetos)
- Las resoluciones exitosas (30 sujetos)
- Las resoluciones no exitosas (26 sujetos)

En primer término se presenta la distribución de la variable TIPO (Ver Gráfico 1) para los tres grupos considerados.



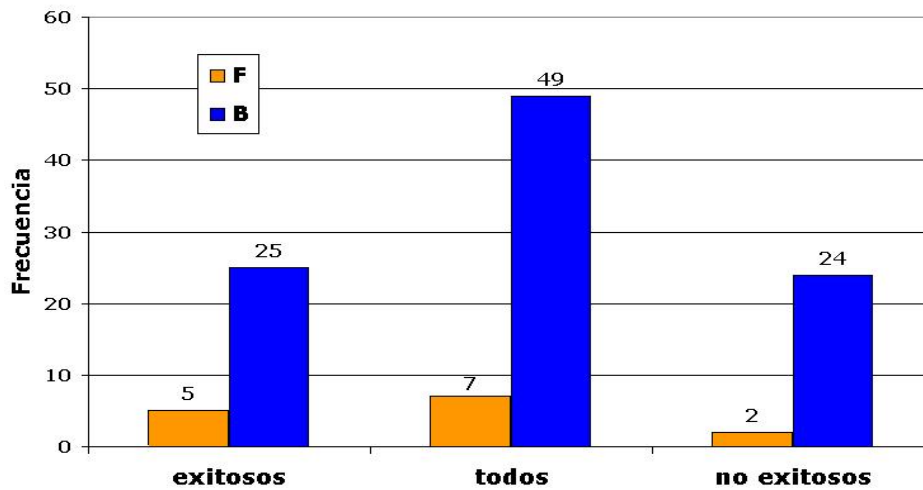


Gráfico 1.- Distribución de la variable TIPO para los tres conjuntos analizados.

Los gráficos 2 y 3 muestran, respectivamente, las distribuciones de las variables C y P para las resoluciones exitosas y no exitosas.

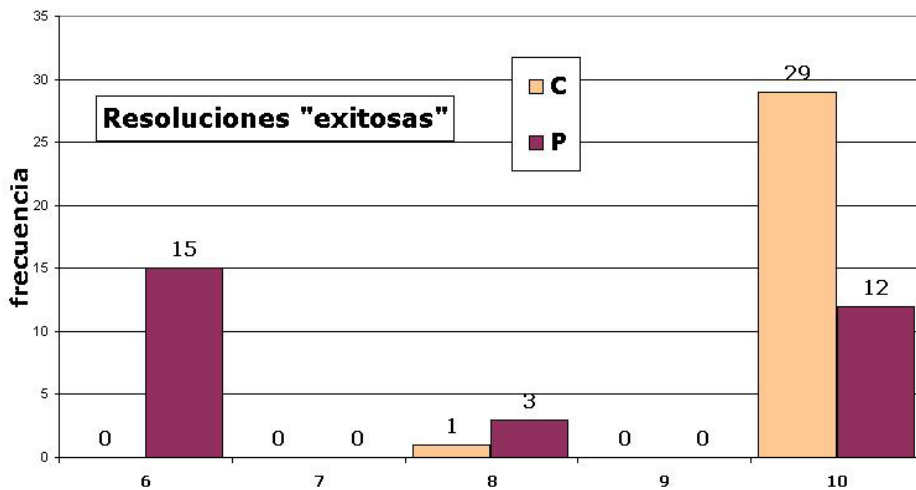


Gráfico 2.- Distribución de C y P para las resoluciones exitosas.

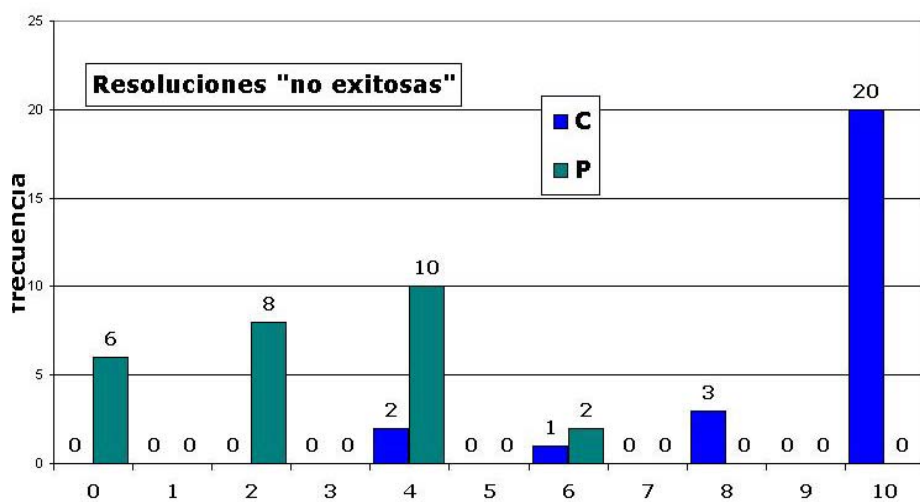


Gráfico 3.- Distribución de C y P para las resoluciones no exitosas.

En el gráfico 4 se muestra la distribución de estas mismas variables para el conjunto formado por las 56 resoluciones, o sea, exitosas y no exitosas.

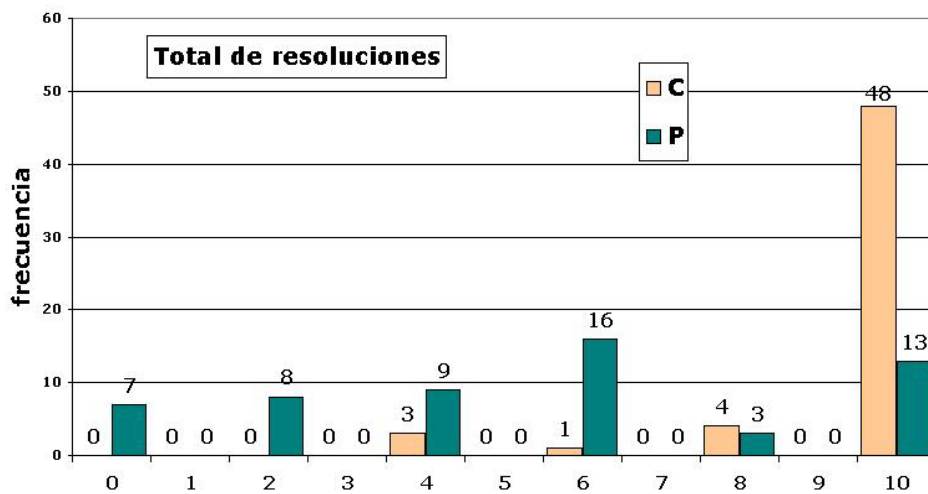


Gráfico 4.- Distribución de C y P para todas las resoluciones.

El gráfico 5 presenta la distribución de las variables N-O conjuntamente con N-E (que resulta del promedio de C y P), para el total de 56 resoluciones.

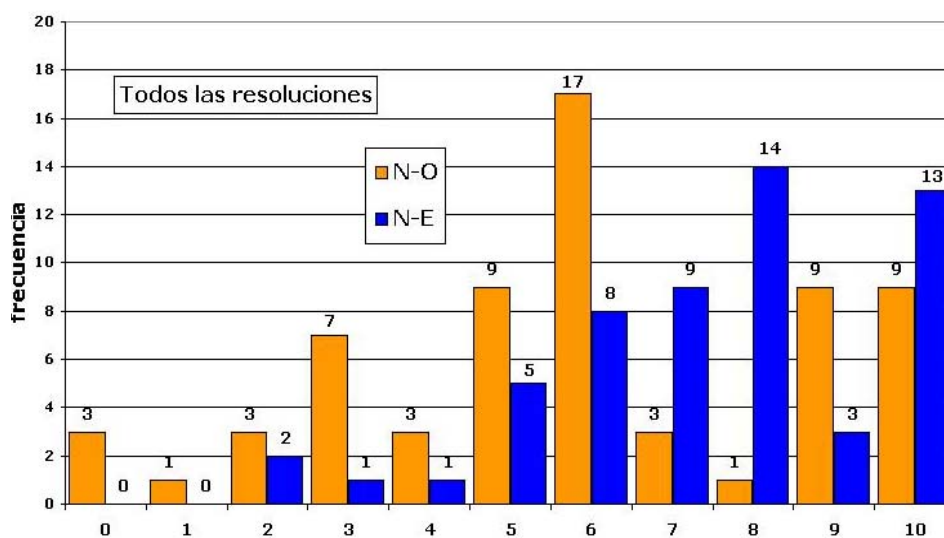


Gráfico 5.- Distribución de N-E y N-O para todas las resoluciones.

De manera de complementar la información que brindan los gráficos, se calcularon los coeficientes de correlación de Spearman entre las variables N-O y N-E, y entre N-O y C y N-O y P, para los tres subconjuntos de resoluciones analizados.

En las tablas A, B y C se muestran estos coeficientes de correlación para, respectivamente, el conjunto de 56 resoluciones, el subconjunto de 30 resoluciones exitosas, y el de 26 resoluciones no exitosas.

SPEARMAN (56 alumnos)	N-O
C	0,64
P	0,93
N-E	0,95

Tabla A.- Coeficientes de correlación de Spearman calculados con el total de 56 resoluciones.

SPEARMAN ("exitosos")	N-O
C	0,60
P	0,91
N-E	0,91

Tabla B.- Coeficientes de correlación de Spearman calculados con las 30 resoluciones exitosas.

SPEARMAN ("no exitosos")	N-O
C	0,74
P	0,63
N-E	0,78

Tabla C.- Coeficientes de correlación de Spearman calculados con las 30 resoluciones no exitosas.

### *Sobre los resolutores*

La primera observación que permiten los resultados es que, atendiendo a la organización de las soluciones, los sujetos que conforman la muestra son mayoritariamente novatos, dado que exhiben un comportamiento característico de éstos, como lo es un valor de TIPO mayoritariamente igual a "B" (hacia atrás). Respecto de esta variable, cabe mencionar también que su distribución varía muy poco si se toma como unidad de análisis el total de los alumnos que resuelven o alguno de sus subconjuntos (exitosos o no exitosos). De hecho, 25 de los 30 alumnos exitosos, resuelven en modalidad Backward. Esto permitiría establecer que no son habilidades de tipo "experto" las que posibilitan que estos alumnos logren resultados exitosos.

Según se puede ver en el gráfico 4, las resoluciones analizadas muestran una dispersión sensiblemente mayor en los valores de la variable P que en aquella correspondiente a C. Esto significaría que las diferencias entre

sujetos más y menos exitosos están más vinculadas a diferencias en las habilidades para manejar herramientas matemáticas y recursos operativos que a la disponibilidad de conocimiento básico de conceptos leyes y principios. Esta idea se ve favorecida si se consideran al mismo tiempo los gráficos 2, 3 y 4, en los cuales se puede observar que:

- Si se consideran solamente las resoluciones exitosas, la distribución de P es prácticamente bimodal, presentando valores para  $P=6$  y  $P=10$ .
- Si en cambio se consideran las resoluciones no exitosas, así como el total de resoluciones, las distribuciones de la variable P son muy similares entre sí, y presentando mayor uniformidad que la de C
- En cualquier caso (resoluciones exitosas, no exitosas, o todas), los valores de C se acumulan fuertemente en el extremo superior de la escala.

Las tablas que muestran los coeficientes de correlación, permiten corroborar las tendencias analizadas en los gráficos:

- Tomando al total de alumnos que resuelven, la correlación entre P y N-O es superior a la que existe entre C y N-O (0,93 frente a 0,64)
- Para el caso de las 30 resoluciones exitosas, volvemos a encontrar mayor correlación entre P y N-O que entre C y N-O (0,91 frente a 0,60)
- En el caso de las resoluciones no exitosas, esta tendencia ya no resulta evidente (valores comparables de 0,63 y 0,74). Debe tenerse en cuenta que, para estas resoluciones, la variable P no supera el valor de 6 mientras que C mantiene una marcada acumulación en valores altos (ver gráfico 3).

#### *Sobre los indicadores "Disciplinares"*

Un análisis de las distribuciones de las variables C y P, definidas como indicadores de la dimensión "Disciplinar", para diferentes grupos de sujetos, permite conocer con algún grado mayor de detalle cuáles son las características de resoluciones exitosas y no exitosas.

Previo a analizar los detalles de las distribuciones de C y P, es útil tener en cuenta que la variable N-E, (promedio aritmético de C y P) presenta un alto grado de correlación con la variable N-O. Esto se manifiesta en mayor medida para el total de las 56 resoluciones (0,95), luego en menor grado para el subconjunto de 30 resoluciones exitosas (0,91) y por último se manifiesta menos intensamente en el subconjunto de 26 resoluciones no exitosas (0,79).

El gráfico 5 se muestran, además, las distribuciones de N-E y N-O de manera conjunta. Si bien no coinciden absolutamente, ambas distribuciones presentan formas similares, trasladadas una respecto de la otra. Estas dos observaciones permiten arriesgar la descripción del indicador N-O a través de las variables C y P, componentes de N-E.

Observando los gráficos 2, 3 y 4 se encuentra que la variable C presenta básicamente la misma distribución para cualquiera de los subconjuntos de resoluciones analizados. Por otra parte, la variable P se distribuye de modo notablemente más uniforme que C. Teniendo en cuenta esta observación, conjuntamente con el análisis de los coeficientes de correlación entre N-O y P y N-O y C que se presentara más arriba, es posible decir que N-O estaría dando cuenta de un umbral de conocimiento de conceptos leyes y principios, una vez superado el cual discrimina entre resolutores con mayor o menor pericia en el manejo de operaciones y procedimientos.

### **Conclusiones**

Mediante los indicadores propuestos, se ha realizado un análisis de las resoluciones de un problema de olimpiada. Se pueden hacer ciertas consideraciones, algunas referidas a características de los sujetos que resolvieron, y otras referidas al instrumento mediante el cual se establecen niveles de desempeño en ocasión de una competencia. Cabe aclarar que tratándose de una muestra accidental, los resultados no son generalizables a una población mayor, sino que tienen un valor descriptivo.

Los sujetos estudiados, si bien muestran un desempeño "exitoso", en tanto que logran satisfacer estándares competitivos de exigencia, presentan un comportamiento que es característico de sujetos novatos: las soluciones están organizadas mayoritariamente según estrategias dirigidas por el valor de la incógnita a encontrar. Aún así, estos sujetos despliegan exitosamente un conjunto de heurísticos que les permite llegar, en muchos casos, a resultados correctos. Utilizan, en estos casos, herramientas procedimentales de manera correcta y un umbral necesario de conocimiento disciplinar conceptual. Vale decir que, una vez superado un mínimo de conocimiento conceptual, resultan exitosos aquellos sujetos que mejor manejen elementos de tipo procedimental.

También es posible distinguir ciertas características de un instrumento utilizado para valorar el desempeño de los alumnos en tareas de resolución de problemas. Se observa que la "nota de la olimpiada" (N-O), da cuenta fundamentalmente de diferencias en los desempeños de los sujetos en cuanto al manejo de procedimientos y operaciones. Este hecho podría resultar de interés para quienes deseen refinar los instrumentos utilizados para evaluar el aprendizaje de sus alumnos: los instrumentos diseñados para valorar la calidad de los resultados obtenidos a través del proceso de resolución de problemas no necesariamente son sensibles a características de los resolutores vinculadas a su estructura de conocimiento. Más aún, a la hora de utilizar problemas como medio de evaluación y, fundamentalmente, como medio de acreditación, es importante tener en cuenta que los mismos pueden ser más sensibles a los diversos grados de manejo procedimental que a diferencias en conocimiento conceptual. Un mayor detalle respecto de estos instrumentos deberá necesariamente ser precedido de estudios más específicos que aborden la evaluación como tema de investigación.

Las dimensiones experto-novato y exitoso-no exitoso no son equivalentes, sino que dan cuenta de diferentes elementos y características de los procesos de resolución de los sujetos así como de los resultados del mismo.

Avanzar en la caracterización de comportamientos "exitosos" podría ayudar a rediscutir objetivos de la actividad de resolución de problemas en el ámbito de la enseñanza formal. Sería interesante poder apuntar de manera diferenciada a formar expertos y/o resolutores de problemas exitosos, ya que ambos objetivos son deseables en diferentes circunstancias.

### **Referencias bibliográficas**

Bransford, J.D., Brown, A.L. & Cocking, R.R. (1999) *How People Learn. Brain, mind experience and school*. Washington, D. C: National Academy Press.

De Jong, T. & Ferguson-Hessler, M.G.M. (1991) Knowledge of Problem Situations in Physics: A Comparison of Good and Poor Novice Problem Solvers. *Learning and Instruction*. 1, 289-302.

Larkin, J.H. (1980). Teaching Problem Solving In Physics: The Psychological Laboratory And The Practical Classroom; en D.T. Tuma & F. Reif (Eds.), *Problem Solving and Education: Issues in Teaching and Research* (pp. 111-125). New York: Wiley.

Larkin, J.H. (1983). The role of problem representation in Physics. En D. Gentner & A. Stevens (Eds.), *Mental Models*. (pp.75-98). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Larkin, J.H., Mc Dermott, J., Simon, D.P. And Simon, H.A. (1980). Expert and novice performance in solving physics problem. *Science*, 208, 1335-1342.

Leonard, W.J., Gerace, W.J., Dufresne, R.J. (2002) Resolución de Problemas basada en el análisis. Hacer del análisis y del razonamiento el foco de la enseñanza de la Física. *Enseñanza de las Ciencias*, 20, 3, 387-400.

Polya, J. 1945. *How to solve it*. (2<sup>nd</sup> edition 1973). Princeton: Princeton University Press.

Savelsberg, E.R, De Jong, T. & Ferguson-Hessler, M.G.M. (2002) Situational Knowledge in Physics: The case of Electrodynamics. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 10, 928-951.