

Cadenas conceptuales y la solución de problemas en física



Carlos E. López Campos

Universidad del Valle de México, Campus Querétaro, Blvd. Villas del Mesón # 1000,
C.P. 76230, Juriquilla, Querétaro, México.

E-mail: academ58@hotmail.com; celopez@uvmnet.edu

(Recibido el 25 de Diciembre de 2009; aceptado el 20 de octubre de 2010)

Resumen

En este trabajo se reporta la aplicación de un modelo teórico desarrollado para explicar los mecanismos mentales de construcción de conocimiento durante el proceso de solución de problemas en física. El modelo ha sido denominado *cadenas conceptuales* y consiste en esquemas gráficos de dependencia conceptual. El estudio ha arrojado información sobre los antecedentes cognitivos requeridos durante el proceso de aprendizaje, así como sobre la formación de diversas estructuras que corresponden a distintas formas de interrelación de conceptos. Adicionalmente, se han clasificado los constructos conceptuales del modelo de acuerdo a cuatro tipos de conocimiento. Se encontraron evidencias de la influencia de estas estructuras, así como de los distintos tipos de conocimiento sobre el grado de dificultad de problemas de estática.

Palabras clave: aprendizaje significativo, estrategias de aprendizaje, solución de problemas.

Abstract

This paper reports the application of a theoretical model developed with the aim to explain the mental mechanisms of knowledge building during the problem-solving process in physics. The model has been termed *conceptual chains* and consists in graphic diagrams of conceptual dependency. The study has yielded information about the background knowledge required during the learning process, as well as about the formation of diverse structures that correspond to distinct forms of networking concepts. Additionally, the conceptual constructs of the model have been classified according to four types of knowledge. Evidence was found about the influence of these structures, as well as of the distinct types of knowledge on the degree of difficulty of statics problems.

Keywords: significant learning, learning strategies, problem solving.

PACS: 01.40.-d, 01.40.gb, 01.50.F-

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

Aunque uno de los primeros en establecerlo formalmente fue Ausubel [1] con su Teoría del Aprendizaje Significativo, son muy diversos los autores que han reconocido más recientemente y corroborado experimentalmente, la importancia de la estructura cognitiva previa del estudiante para el aprendizaje de un nuevo concepto.

Por ejemplo, una serie de estudios e investigaciones experimentales han demostrado que el conocimiento previo de los estudiantes guarda una relación estadísticamente significativa con actividades mentales de alto nivel tales como la solución de problemas [2].

Adicionalmente, Doniez [3] afirma que los aprendizajes previos del estudiante deben ser puestos en movimiento mediante un problema en una situación que represente una dificultad no superable de manera inmediata.

Realizando pruebas con estudiantes de Física y Química a nivel bachillerato, Solaz-Portolés y Sanjosé [4] han concluido que una mayor cantidad de conceptos y de

relaciones entre ellos en la memoria de largo plazo, sobre el tema al cual el problema pertenece, es un factor determinante para el logro de un desempeño exitoso en la actividad de solución de problemas.

En estudios que muestran obstáculos para resolver problemas aparentemente muy elementales sobre el tema de vectores, como sumar o restar dos vectores por ejemplo, se puede apreciar como fuente de estas dificultades el uso indebido o la carencia de conceptos básicos requeridos como antecedentes del problema por resolver [5].

También, Kempa [6], ha demostrado que las dificultades para resolver problemas están relacionadas con la ausencia de conceptos y de relaciones entre ellos, y por otro lado, con la presencia de conceptos y relaciones erróneos o de poca importancia en la estructura cognitiva de los aprendices.

La asignación a los estudiantes de problemas sin que el docente se haya cerciorado de su grado de complejidad y de que los alumnos cuenten con los conocimientos antecedentes necesarios es referido por Moreno [7] como fuente de dificultad para la solución de estos.

Lawson [8] por otra parte, estudió la habilidad para conectar la información provista en el problema por resolver, con la que el aprendiz tiene disponible en su estructura cognitiva como un factor favorable para su resolución.

Realizando estudios para clasificar el grado de dificultad de problemas de mecánica básica, López [9, 10] encontró sustento para concluir que, en etapas elementales de complejidad, el nivel de dificultad crece con el número de conceptos implicados en la solución de un problema, pero sobre todo con el tipo de relaciones que se establecen entre estos conceptos. Varias de estas relaciones se estudiaron entre el concepto bajo aprendizaje y otros conceptos requeridos en la estructura cognitiva del alumno. Esta investigación, sin embargo, debía extenderse al estudio de otro tipo más amplio de interrelaciones y clasificaciones conceptuales, lo cual fue entre otros, uno de los propósitos para desarrollar este trabajo.

Todos estos autores coinciden en la importancia que reviste el conocimiento previo y los tejidos conceptuales preexistentes en la estructura cognitiva del alumno, como un factor definitivamente determinante para el buen desempeño en las actividades de aprendizaje en general y de resolución de problemas en particular.

Así mismo, varios de ellos dan fundamento experimental a algunas de las premisas de Ausubel y su Teoría del Aprendizaje Significativo.

Finalmente, el objetivo principal de este trabajo, fue estudiar las estructuras conceptuales previas y su relación con el aprendizaje bajo actividades de solución de problemas en un tema particular de física: estática. Un propósito adicional fue realizar avances que no sólo contribuyan a explicar los mecanismos mentales de construcción y asimilación de conceptos [1], sino que permitan hacer clasificaciones y predicciones acerca del grado de dificultad de la amplia gama de problemas que se pueden proponer en un tema de física bajo aprendizaje.

II. MARCO TEÓRICO

A. Los tipos fundamentales de interrelación conceptual

Hablando de un caso particular para utilizarlo como ejemplo, el aprendizaje del concepto vector bidimensional, debería incluir otra serie de temas antecedentes dominados por el aprendiz.

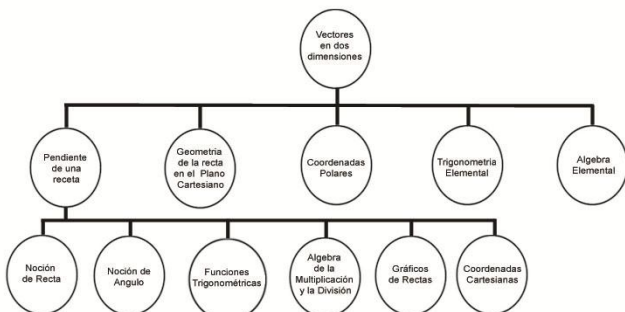


FIGURA 1. Relaciones de dependencia entre el concepto Vectores Bidimensionales y sus antecedentes conceptuales.

Entre ellos, el concepto pendiente de una recta, precedente necesario al concepto vector bidimensional, requiere también para su correcto uso y comprensión, del conocimiento adecuado de una serie de otros temas antecedentes tales como: noción de recta, noción de ángulo, funciones trigonométricas, álgebra de la división y de la multiplicación, gráficos de rectas en el plano cartesiano, coordenadas cartesianas, etc.

Esquematicemos estas relaciones de dependencia conceptual en la Figura 1.

En seguida, para clasificar algunos tipos de ligas entre conceptos hacemos referencia a un trabajo previo [9], en el cual se definieron, entre otros, tres tipos fundamentales de interrelación los cuales se esquematizan en la Figura 2.

En forma resumida, se puede decir que el aprendizaje de un concepto aislado (Figura 2 a)) representa un aprendizaje memorístico repetitivo, precisamente la contraparte del aprendizaje significativo. El aprendizaje de un concepto nuevo, llamado en la Figura 2 b) concepto actual, que requiere para tal fin de un concepto precedente, es una forma de interrelación que implica ya una forma de anclaje [1] entre el concepto por aprender y la estructura cognitiva del aprendiz.

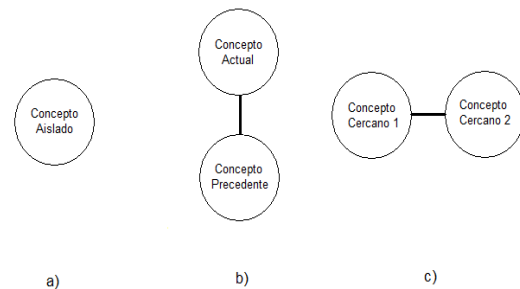


FIGURA 2. Tipos fundamentales de relaciones entre conceptos.

Un marco de referencia que puede resultar muy útil para la definición de las ideas, concepto actual y concepto precedente, es el programa de estudios de la materia bajo aprendizaje. Éste representa un compendio del contenido conceptual de un curso del currículo, y también una propuesta de la estructura conceptual de dicha materia [11, 12].

Que tan lejano se encuentre el concepto previo del concepto actual, es decir, a cuántas secciones, capítulos o unidades atrás pertenece respecto al tema bajo estudio, nos indicará el grado de precedencia que el problema tiene. La precedencia es una variable temporal relacionada con la memoria de corto y de largo plazo, pero también con el grado de madurez de los conceptos previos aprendidos por el estudiante.

De manera similar, se ilustra el aprendizaje de un concepto nuevo, o concepto cercano 2 en la Figura 2 c), que requiere para este propósito de un concepto cercano 1, perteneciente a la misma sección programática o bloque cognitivo que el concepto por aprender. Estos dos, debido a la casi simultaneidad de su aprendizaje, se consideran cercanos en el tiempo y en el contenido.

La representación gráfica de los conceptos cercanos, será un esquema con dos círculos alineados

horizontalmente con el título de cada concepto escrito dentro de cada uno de los círculos (Figura 2 c)).

Una explicación más amplia de estas interrelaciones y las definiciones precisas de las mismas se puede consultar en la referencia ya citada [9].

Se debe añadir también que un aprendizaje con énfasis en la solución de problemas ofrece una serie de ventajas didácticas para el estudiante, entre otras, la progresión de lo concreto a lo formal y de lo particular a lo general [13], un enlace más natural entre la teoría y la práctica [14, 15] y la aplicación sistemática del conocimiento en casos que requieren de procesos estructurados [15, 16].

B. Formaciones constructivas más complejas a partir de las fundamentales

Una vez establecidas las tres estructuras fundamentales de construcción conceptual (Figura 2), la siguiente formación conceptual es una combinación de aquellas. Ésta representa el aprendizaje de un concepto mediante la solución de un problema que involucra tres entes conceptuales: uno precedente, uno cercano y el actual. La ilustración gráfica de esta estructura, se muestra en la figura 3.

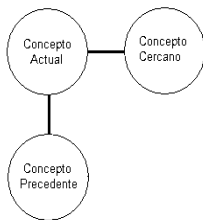


FIGURA 3. La primera formación constructivo- conceptual a partir de estructuras fundamentales.

El estudio de problemas de física con este tipo de estructuras elementales (Figuras 2 y 3), ha conducido a la definición de una taxonomía que permite la graduación progresiva de la dificultad de los problemas propuestos en este tema, en estos niveles básicos de complejidad [9].

Esta taxonomía ha sido validada estadísticamente, con un banco de problemas de Física desarrollado bajo este esquema, el cual fue posteriormente aplicado para la evaluación de cientos de estudiantes a través de un sistema computarizado de exámenes con reactivos de opción múltiple, cuya eficacia y la de sus distractores, fue también estadísticamente estudiada y comprobada [10].

C. Tipos de conocimiento

En otro orden de ideas, existe una clasificación en cuatro tipos de conocimiento establecida por de Jong [17]: situacional (S), conceptual (C), antes llamado declarativo por el autor referido, procedimental (P) y estratégico (E) (ver Tablas I y III). Adicionalmente, en este trabajo se añadió el conocimiento definitorio (D), debido a la necesidad de especificar más detalladamente este espectro clasificatorio. El conocimiento definitorio, como su nombre

lo indica, se refiere al conocimiento y uso de definiciones. Además, debemos decir que los cuatro tipos de conocimiento asentados por de Jong [17], se han establecido en el contexto de la solución de problemas de física.

D. Esquemas de dependencia conceptual

Cuando estamos hablando de un concepto en física muy frecuentemente éste estará relacionado con mecanismos de operatividad matemática.

Por ejemplo, el concepto Coordenadas Cartesianas de un Vector Bidimensional, quedaría expresado en su forma matemática como,

$$\begin{aligned} A_x &= A \cos \theta, \\ A_y &= A \sin \theta. \end{aligned} \tag{2}$$

En donde A representa la magnitud del vector, θ la dirección del mismo, y A_x y A_y , son las coordenadas cartesianas del vector.

Estas expresiones representan parte del conocimiento precedente necesario en el estudiante para el aprendizaje del nuevo concepto, y engloban una serie de otros conceptos o tejidos conceptuales tales como: funciones trigonométricas elementales, concepto de ángulo, unidades angulares, álgebra elemental de multiplicaciones y divisiones, entre otros.

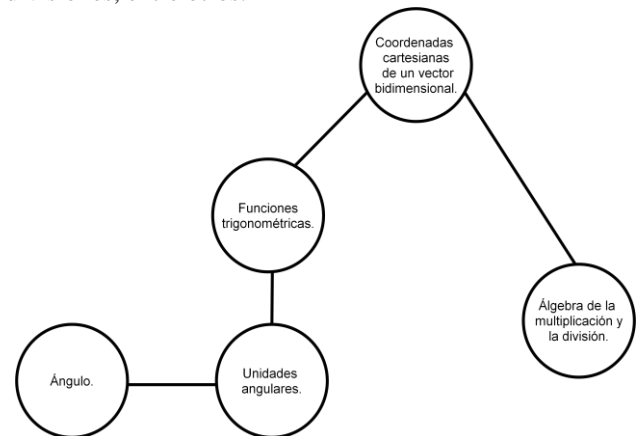


FIGURA 4. El concepto Coordenadas Cartesianas de un vector Bidimensional, y los conceptos precedentes requeridos en la estructura del alumno.

La Figura 4 ilustra una propuesta de las interrelaciones conceptuales entre este concepto bajo aprendizaje y los precedentes requeridos en la estructura del alumno. En esta estructura se añade un tipo de representación gráfica: conceptos ligados mediante una línea inclinada, la cual tendrá idéntico significado a la liga de dos conceptos unidos por una línea vertical, es decir, *concepto actual-concepto precedente*.

Un esquema como el anterior nos es útil para representar el aprendizaje significativo del concepto nuevo bajo estudio, considerando que se han cumplido los

requerimientos para poder catalogar este proceso en tal forma [1, 16], es decir:

- a. que el material a través del cual se presente el nuevo concepto sea potencialmente significativo,
- b. que el estudiante posea los conocimientos previos pertinentes en su bagaje conceptual para el anclaje o afianzamiento adecuado del nuevo concepto,
- c. que el estudiante tenga una actitud de aprendizaje significativo

A un esquema como el de la Figura 4 le llamaremos Esquema de Dependencia Conceptual (EDC).

Debemos hacer la observación de que estos esquemas no son mapas conceptuales, pues estos y aquellos poseen cualidades distintas [18, 19, 20]. En un trabajo previo López [21] analiza y establece detalladamente las diferencias y coincidencias existentes entre los EDC y los mapas conceptuales.

Los EDC representan los enlaces secuenciales de dependencia entre conceptos que requiere el estudiante para arribar tanto al aprendizaje del concepto nuevo como a la solución del problema planteado.

III. METODOLOGÍA

A. Estudio estadístico del grado de dificultad de los problemas

Se elaboró un examen de cinco problemas de la materia de segundo semestre Estática Aplicada a la Arquitectura, para un grupo de 34 estudiantes de una universidad privada mexicana¹.

Se realizó el análisis concepto- estructural de cada problema, con base en las ideas de los esquemas de dependencia y estructura conceptual planteadas por López [21].

Una vez que se aplicó el examen a los estudiantes, se realizó un estudio estadístico del grado de simplicidad de estos problemas.

Para evaluar los problemas cómo correctamente resueltos, se consideraron los procesos correctamente escritos por los estudiantes conceptualmente hablando, sin atribuir importancia para este fin a errores en los cálculos aritméticos no relevantes como para demeritar el dominio conceptual de los alumnos sobre el tema. Una vez teniendo el cuadro de resultados de evaluación por alumno y por problema, se subdividió el grupo completo en tres partes. La primera, llamada Grupo Superior, formada por el 27 % de los alumnos con la calificación más alta, la segunda, llamada Grupo Inferior, formada por el 27 % de los alumnos con la calificación más baja, y la parte restante denominada Grupo Medio [22, 23].

Después de esto se utilizaron las siguientes variables [22, 23], útiles para el tratamiento e interpretación de los resultados en relación al interés de medir el grado de simplicidad de cada problema:

$$S = NB/NS,$$

$$I = NM/NI,$$

$$S_i = (NB + NM) / (NS + NI),$$

$$D = S - I, \quad (2)$$

donde S = índice superior, I = índice inferior, S_i = índice de simplicidad, D = índice de discriminación, NB = número de alumnos del grupo superior que contestó correctamente el problema, NS = número de alumnos del grupo superior, NM = número de alumnos del grupo inferior que contestó correctamente el problema, NI = número de alumnos del grupo inferior.

B. Método de trabajo utilizado en clase

Por otro lado, el estilo de trabajo adoptado en clase con los estudiantes, con cada tema nuevo, fue a través del método expositivo, pero con interacción maestro- alumno mediante el uso de preguntas en sus diversas modalidades: abiertas, cerradas, públicas y dirigidas [24, 25], a fin de explorar el grado de comprensión grupal y retro alimentar la exposición.

Posteriormente a la explicación de la teoría utilizando el método mencionado, se continuó con una serie de ejemplos bajo la misma estrategia, para finalmente realizar sesiones de solución de problemas en las cuales los principales actores eran los alumnos, a quienes se les encargó la solución de diversos tipos de estos.

En la parte de solución de problemas se establecieron estrategias de trabajo colaborativo entre equipos de dos y hasta tres estudiantes.

Por lo general, al final de cada clase o al inicio de la siguiente, se tenía una sesión de integración de conocimientos.

El tiempo invertido en clases de teoría y de solución de problemas fue similar para cada tema distinto, representado en cada uno de los problemas del examen. Éstos individualmente, son ejemplares típicos de cada uno de los tópicos cubiertos.

En otro caso, se suspendía el trabajo con un tema y se pasaba al siguiente cuando en opinión de los estudiantes se había explicado y practicado de manera suficiente con cada uno de los tópicos.

Por supuesto, los problemas del examen son del tipo de los resueltos en el aula pero ninguno idéntico a los resueltos durante el curso.

Entonces, en resumen se puede decir que se utilizó una combinación de técnica expositiva- interactiva vía el método de la pregunta [24, 25], enfocada a la asimilación de conceptos [1], más una técnica colaborativa utilizando elementos de constructivismo social [26, 27] y promoviendo el acto de aprender a aprender [28, 29] y la formación de conceptos [1].

IV. RESULTADOS

A. Cadenas conceptuales (CC) y esquemas de dependencia conceptual (EDC)

Como resultado del análisis realizado a los cinco problemas del examen aplicado, se obtuvieron sus esquemas concepto-estructurales, los cuales se muestran en las figuras de la 5 a la 9, desarrollados con base en el método de construcción de estos gráficos propuesto por López [21].

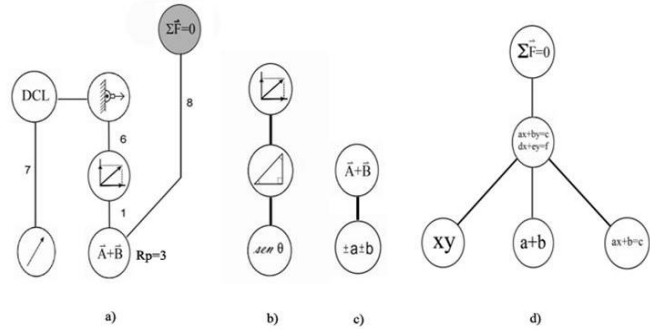


FIGURA 5. Esquemas de dependencia conceptual para la solución del problema 1 del examen de Estática. Ver Apéndice.

El inciso a) en cada figura (5,...,9) corresponde a la estructura conceptual del aprendizaje en física (CC), mientras que los complementos b), c),..., n), corresponden a los precedentes matemáticos requeridos secuencialmente para la asimilación significativa de los temas representados por el ícono en la parte superior de estos (EDC).

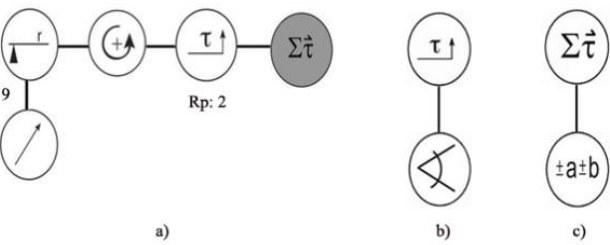


FIGURA 6. Esquemas de dependencia conceptual para la solución del problema 2 del examen de Estática. Ver apéndice 1.

Para hacer un énfasis y destacarlo visualmente, el concepto actual o bajo estudio se está representando con un círculo sombreado en color gris.

Todos los esquemas de las figuras 5 a la 9, contienen información en forma iconográfica dentro de los círculos que representan los eslabones conceptuales de la cadena secuencial propuesta para la resolución de cada uno de los problemas.

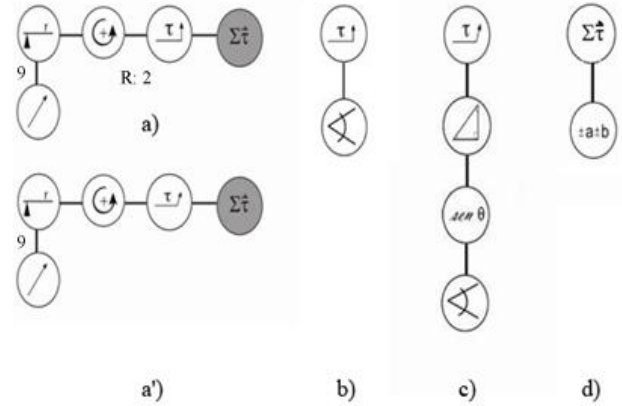


FIGURA 7. Esquemas de dependencia conceptual para la solución del problema 3 del examen de Estática. Ver Apéndice.

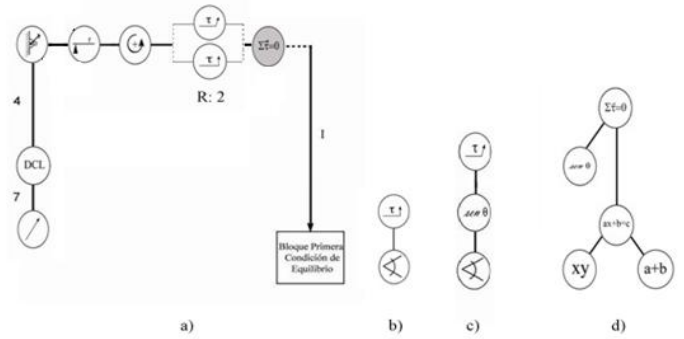


FIGURA 8. Esquemas de dependencia conceptual para la solución del problema 4 del examen de Estática. Ver Apéndice.

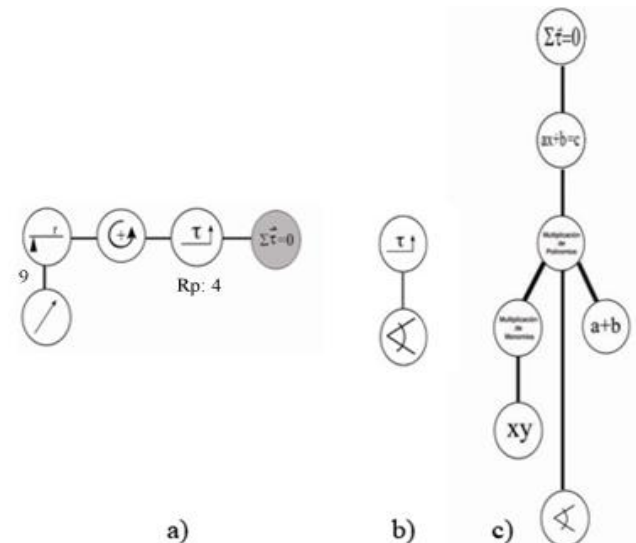




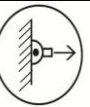
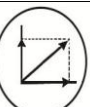





FIGURA 9. Esquemas de dependencia conceptual para la solución del problema 5 del examen de Estática. Ver Apéndice.

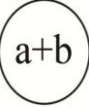
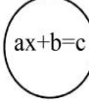



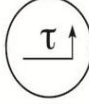


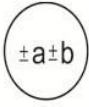



Cada uno de estos íconos representa por supuesto un concepto, entendiéndose éste de manera genérica, en ocasiones un ente físico o abstracto, en otras un proceso y en otros casos una operación matemática.



La Tabla I es un catálogo de los símbolos empleados en las figuras 5 a la 9, con una explicación del contenido conceptual asignado.

Para un mayor detalle respecto a la definición, construcción y uso de estos esquemas referimos al lector al trabajo mencionado [21].

TABLA I. Significado conceptual asociado a cada uno de los íconos utilizados en la construcción de los EDC y las CC.

ÍCONO	SIGNIFICADO ASOCIADO	ANTECEDENTE	TIPO DE CONOCIMIENTO (de Jong, [17])
	Concepto de vector	Físico, propio de la materia	D
	Diagrama de cuerpo libre		C
	Fuerza de reacción de una pared sobre una viga que se encuentra bajo el efecto de fuerzas concurrentes		S
	Descomposición de un vector en sus componentes cartesianas		P
	Suma de vectores		C
	Primera condición de equilibrio		P
	Funciones trigonométricas	Matemático	C
	Solución de triángulos rectángulos		C
	Multiplicación algebraica		C

	Suma algebraica	Físico, propio de la materia	C
	Ecuaciones de primer grado		P
	Sistemas lineales de dos ecuaciones simultáneas		P
	Brazo de palanca	Físico, propio de la materia	D
	Convención de signos para la torca		D
	Cálculo de torca en el caso de fuerza y brazo de palanca perpendiculares		C
	Segunda condición de equilibrio		C
	Definición y propiedades de ángulos	Matemático	D
	Suma de números de distinto signo		C
	Cálculo de torca en el caso de fuerza y brazo de palanca no perpendiculares	Físico, propio de la materia	C
	Suma de torcas		C
	Multiplicación de monomios	Matemático	C

	Multiplicación de polinomios		C
	Fuerza de reacción de una pared sobre una viga que se encuentra bajo el efecto de fuerzas no concurrentes	Físico, propio de la materia	S

Nomenclatura: D: definitorio, S: situacional, C: conceptual, P: procedimental

B. Resultados del estudio de índices de simplicidad y discriminación de los problemas

Los gráficos de S, I, S_i y D, para los cinco problemas bajo estudio aplicados en el examen a los 34 estudiantes, se muestran en la figura 10.



FIGURA 10. Resultados del análisis estadístico de aciertos de los cinco problemas del examen para los índices: S, Superior, I, Inferior, S_i, de Simplicidad y D, de Discriminación.

V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

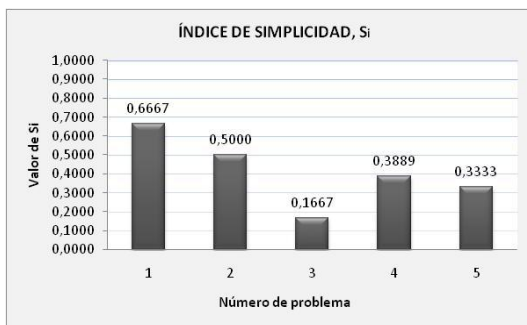
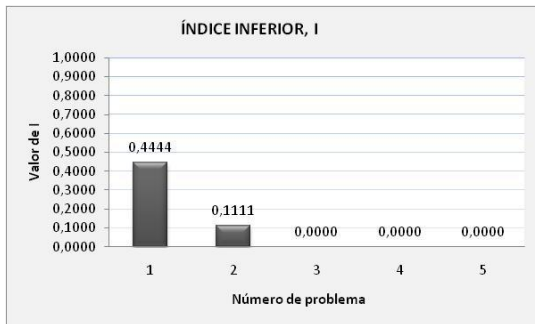
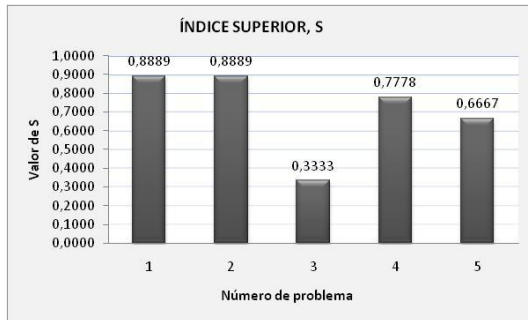
Debemos observar que tanto S como I (Ecs. (2)), son índices que miden el grado de simplicidad de los problemas del examen, sólo que desde la perspectiva del desempeño del Grupo Superior e Inferior respectivamente.

Mientras que, por otro lado S_i, el llamado Índice de Simplicidad (Ecs. (2)), es un parámetro que contiene información del grado de simplicidad para resolver un problema desde la perspectiva del desempeño del grupo completo. Ésta por tanto es una de las variables más importantes para este estudio.

Adicionalmente D, el Índice de Discriminación (Ecs. (2)), ofrece información acerca de que tan efectivo es un problema para distinguir el comportamiento de alumnos de bajo desempeño contra los de alto desempeño y para determinar posibles incongruencias durante el proceso de evaluación. Un valor mínimo de 0.4 es esperado para considerar un buen problema desde este punto de vista, aunque valores de 0.3 se pueden considerar como aceptables [22, 23]. Valores mayores a 0.4 nos identificarán excelentes problemas que pueden ser resueltos en porcentajes razonables por estudiantes de alto desempeño, y que pueden ser resueltos en un porcentaje bajo por estudiantes de desempeño pobre.

Por ejemplo, un problema que resultara tener un Índice de Discriminación muy por debajo de 0.3, nos estaría reflejando una situación incongruente en la que un reactivo de alto Grado de Dificultad podría ser resuelto por un alto porcentaje tanto de alumnos del Grupo Superior, como de alumnos del Grupo Inferior. Y en este mismo caso, un problema de bajo Grado de Dificultad, podría estar siendo resuelto por estudiantes del Grupo Superior en porcentajes similares que por estudiantes del Grupo Inferior.

Observando los gráficos de los resultados de los índices S, I, S_i y D (figura 10), podemos notar que en la gráfica del índice de simplicidad S_i, el problema que resultó ser el más difícil es el número 3, con un alto grado de dificultad para el grupo (grado de simplicidad S_i = 0.1667), seguido por el problema 5, mientras que el más fácil para los estudiantes resultó ser el problema 1. Los gráficos del Índice Superior



S y el Índice Inferior I muestran resultados congruentes con lo anterior como puede observarse, aunque es posible apreciar que en el gráfico de S no es posible distinguir las diferencias de dificultad que para el grupo superior de estudiantes hubo entre los problemas 1 y 2, mientras que en la gráfica del índice inferior I, no es posible distinguir las diferencias en el grado de dificultad entre los problemas 3, 4 y 5.

Por otro lado, la gráfica de Discriminación D, nos muestra congruencia en la resolución de los problemas, y ausencia de situaciones anómalas como el plagio de información por ejemplo, o la presencia de reactivos de una dificultad extrema fuera de lo razonable. El valor de discriminación más bajo lo obtiene el problema 3, con $D=0.3333$ el cual se considera aceptable.

Adicionalmente, se realizó un análisis del número y tipo de conceptos involucrados en la solución de los problemas, previa clasificación de estos de acuerdo a dos criterios: el primero, la distinción de los conceptos en horizontales o cercanos y verticales o en relaciones de precedencia sucesiva (Tablas II y III), y el segundo, adicionalmente de acuerdo a cuatro de los tipos de conocimiento mencionados en la sección Marco Teórico: definitorio (D), situacional (S), conceptual (C) y procedimental (P) (Tablas I y III).

De éstos, los tipos situacional (S) y definitorio (D), se han considerado cualitativamente similares, mientras que los tipos conceptual (C) y procedimental (P) al implicar procesos, se han considerado en una segunda categoría.

Entonces, se realizó el análisis respecto al número de conceptos de los tipos, situacional (S) y definitorio (D) por un lado, y conceptual (C) y procedimental (P) por otro.

La razón de este análisis, es por supuesto la búsqueda de una relación creciente para la variable grado de dificultad, la cual se define como $D_i = I - S_i$, respecto de alguna de las variables analizadas. Varias de estas variables han sido registradas en las Tablas II y III.

Por ejemplo, pareciera lógico pensar en una primera aproximación, que a mayor número total de conceptos utilizados, tanto físicos como matemáticos, tendríamos la ocurrencia de un mayor grado de dificultad del problema, sin embargo, observando la última columna de la Tabla II, en la que se muestran los valores de esa variable, se aprecia claramente que esta relación creciente no aparece. Lo más cercano en la Tabla II a tal relación creciente buscada es con la variable *número de conceptos físicos horizontales* (columna III), la cual aparece desde el primer problema hasta el cuarto, hablando en términos de grado de dificultad, desapareciendo la tendencia sólo en el quinto problema aunque no de manera drástica.

Por otro lado, el resultado del análisis de acuerdo al primero y al segundo criterio se muestra en la Tabla III, en la cual se puede apreciar claramente la existencia de una relación creciente entre las variables, *grado de dificultad del problema* respecto del *número de conceptos físicos horizontales del tipo conceptual (C) y procedimental (P)* implicados en la solución, lo cual además es muy congruente con los hallazgos reflejados en la Tabla II, y nos permite explicar de paso la pérdida de la tendencia creciente en el quinto problema bajo el primer criterio.

TABLA II. Análisis de la influencia de conceptos horizontales y verticales sobre la variable D_i , grado de dificultad del problema. Columnas: I. No. de problema, II. Grado de dificultad, III. No. de conceptos físicos horizontales, IV. No. de conceptos físicos verticales, V. No. de conceptos matemáticos, VI. No. total de conceptos.

I	II	III	IV	V	VI
1	0.3333	1	5	7	13
2	0.5000	4	1	2	7
4	0.6111	4	1	6	11
5	0.6667	6	4	10	20
3	0.8333	5	1	4	10

Finalmente, se debe añadir que no se encontró una relación creciente de los conceptos clasificados en el segmento formado por los conocimientos situacional (S) y definitorio (D), sobre la variable grado de dificultad D_i del problema.

TABLA III. Análisis de la influencia de conceptos horizontales y verticales, de tipo conceptual (C) y procedimental (P) sobre la variable D_i , grado de dificultad del problema. Columnas: I. No. de problema, II. Grado de dificultad, III. No. de conceptos físicos horizontales tipo C y P, IV. No. de conceptos físicos verticales tipo C y P, V. No. total de conceptos físicos, VI. No. total de conceptos matemáticos tipo C y P, VII. No. total de conceptos tipo C y P.

I	II	III	IV	V	VI	VII
1	0.3333	1	3	4	7	11
2	0.5000	2	0	2	1	3
4	0.6111	2	0	2	5	7
5	0.6667	3	4	7	8	15
3	0.8333	3	0	3	3	6

Vale la pena anotar que como reflejo de la congruencia del conteo y análisis de conceptos se observan algunas reglas de conservación en las Tablas II y III. En la Tabla II,

$$a_{i3} + a_{i4} + a_{i5} = a_{i6}, \quad i=1, \dots, 5.$$

Mientras que en la Tabla III,

$$\begin{aligned} b_{i3} + b_{i4} &= b_{i5}, \\ b_{i5} + b_{i6} &= b_{i7}, \end{aligned} \quad i=1, \dots, 5.$$

En donde $A_{5 \times 6}$ y $B_{5 \times 7}$ son las matrices de los elementos numéricos de las Tablas II y III.

Adicionalmente, se debe decir que los EDC y las CC contienen información detallada sobre los antecedentes conceptuales requeridos secuencialmente durante procesos de enseñanza y aprendizaje significativo y solución significativa de problemas. En consecuencia, muestran utilidad para:

AGRADECIMIENTOS

A Laureate International Universities por el financiamiento otorgado para la realización de este trabajo.

Notas

¹ Universidad del Valle de México, Campus Querétaro.

REFERENCIAS

- [1] Ausubel, D. P., Novak, J. D. y Hanesian, H., *Psicología Educativa, un punto de vista cognoscitivo*, 2ª Ed. (Ed. Trillas, México, 1983).
- [2] Chandran, S., Treagust, D. F., Tobin, K., *The role of cognitive factors in chemistry achievement*, Journal of Research in Science Teaching **24**, 145-160 (1987).
- [3] Doniez, S. R., *Fragmentos encontrados sobre la resolución de problemas*, Integra **4**, 1-9 (2000).
- [4] Solaz-Portolés, J. J. y Sanjosé, V., *¿Podemos predecir el rendimiento de nuestros alumnos en la resolución de problemas?*, Revista de Educación **339**, 693- 710 (2006).
- [5] Flores, S., González, M. D. y Herrera, A., *Dificultades de entendimiento en el uso de vectores en cursos introductorios de mecánica*, Revista Mexicana de Física **53**, 178-185 (2007).
- [6] Kempa, R. F., *Students' learning difficulties in Science. Causes and possible remedies*, Enseñanza de las Ciencias **9**, 119-128 (1991).
- [7] Moreno, M. G., *Cuándo, cómo y para qué resolver problemas en la enseñanza de las matemáticas*, Revista de Educación Nueva Época **2**, 2-10 (1997).
- [8] Lawson, A. E., *Predicting science achievement. The role of developmental level, disembedding ability, mental capacity, prior knowledge and belief*, Journal of Research in Science Teaching **20**, 141-162 (1983).
- [9] López, C. E., *Una taxonomía para la resolución de problemas de física*, Memorias de la IX Reunión de Intercambio de Experiencias en Estudios sobre Educación, (ITESM, México, 1991).
- [10] López, C. E., *Validación estadística de una taxonomía para la solución de problemas de física: una aplicación al banco de exámenes de la materia física remedial*, Memorias de la XI Reunión de Intercambio de Experiencias en Estudios sobre Educación, (ITESM, México, 1993).
- [11] López, C. E., *Análisis de textos de Física*, Memorias del Congreso Interamericano de Enseñanza de la Física, (AAPT, Oaxtepec, México, 20 al 24 de julio de 1987).
- [12] López, C. E., *Análisis conceptual de textos de física: una aplicación al electromagnetismo*, Memorias del XXXVI Congreso Nacional de Física, 18 al 22 de octubre (Acapulco, México, 1993).
- [13] Waldegg, G. y de Agüero, M., *Habilidades cognoscitivas y esquemas de razonamiento en estudiantes universitarios*, Revista Mexicana de Investigación Educativa **4**, 203- 244 (1999).

- a. Ayudar a diagnosticar los puntos débiles o vacíos conceptuales en los antecedentes de un estudiante al momento de aprender un nuevo tema o concepto,
- b. Tomar medidas didácticas correctivas dirigidas específicamente, para subsanar carencias en los antecedentes de los estudiantes,
- c. Apoyar en el diseño de una clase en relación a los antecedentes conceptuales y materiales necesarios para iniciarla,
- d. Identificar y estructurar los requisitos conceptuales necesarios para la introducción y desarrollo de un nuevo tema.

Esto entre otras cosas, obliga al docente a establecer un extenso e intenso proceso de retroalimentación comunicativa con los aprendices a fin de ayudarlos a resolver los vacíos conceptuales, lo cual nos da pauta a abrir el espacio de enseñanza a metodologías interactivas entre docente y estudiante y entre los mismos aprendices [14, 16].

Se puede observar y reflexionar a partir de los EDC y las CC, que problemas aparentemente simples para un especialista, pueden poseer una gran riqueza conceptual tanto en sus elementos como en las interrelaciones entre estos, lo que no representaría ninguna simplicidad para un aprendiz.

VI. CONCLUSIONES

A partir del análisis y clasificación de los entes conceptuales ordenados en los EDC y las CC, se encontraron evidencias de una mayor influencia de los conceptos ubicados en estructuras horizontales (conceptos cercanos) sobre la variable grado de dificultad en un proceso de solución de problemas, a diferencia de los conceptos que resultaron estar arreglados en estructuras verticales (conceptos precedentes).

Se encontró una relación creciente para la variable grado de dificultad del problema (D_i), respecto al número de conceptos horizontales clasificados dentro del segmento: conocimiento conceptual y procedimental, lo que da evidencia de la influencia de este tipo de entes conceptuales sobre dicha variable.

En consecuencia, estos resultados nos proveen información útil para graduar el nivel de dificultad de problemas de física, bajo argumentos bien definidos y fundamentados. Por tanto, se anticipa el uso de este modelo como una herramienta valiosa también para el diseño de evaluaciones.

Debemos sin embargo, estar concientes de las limitaciones de este trabajo a causa de los tamaños de las muestras de estudiantes y de problemas, así como del restringido número de temas bajo consideración. Por tal motivo, los hallazgos aquí reportados se sugiere deben de ser considerados en su debida dimensión, como indicios que pueden conducir en un futuro a abundar en este tipo de estudios a fin de recabar mayor evidencia y profundidad respecto a lo reportado en este artículo.

[14] Díaz, F. y Hernández, G., *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. Una interpretación constructivista*, 2ª ed. (McGraw Hill, México, 2002).

[15] Anderson, J. R., *Problem Solving and Learning*, American Psychologist **48**, 35- 44 (1993).

[16] Díaz, F., *Cognición situada y estrategias para el aprendizaje significativo*, Revista Electrónica de Investigación Educativa **5**, 1-13 (2003).

[17] De Jong, T. y Ferguson-Hessler, M., *Types and qualities of knowledge*, Educational Psychologist **31**, 105-113 (1996).

[18] Campos, A., *Mapas conceptuales, mapas mentales y otras formas de representación del conocimiento*, 139-143 (Ed. Magisterio, Colombia, 2005).

[19] Moreira, M.A., *Mapas conceptuales y aprendizaje significativo en ciencias*, Revista Galáico Potuguesa de Sócio Pedagogía y Sócio- Lingüística **23**, 87- 95 (1988).

[20] Tascón, C., *La potenciación de aprendizajes en un entorno T.I.C.: Los mapas conceptuales como instrumento cognitivo y herramienta de aprendizaje visual*, Proc. of the First International Conference on Concept Mapping, 14 al 17 de septiembre (España, 2004).

[21] López, C. E., *Representaciones Gráficas de Procesamiento Cognitivo: Mapas, Redes y Cadenas Conceptuales*, Episteme **14**, en prensa (aceptado 26 octubre 2009).

[22] The College Board, *El análisis de ítems*, (Puerto Rico, 1985).

[23] Gay, L. R., *Educational evaluation and measurement*, (Merrill Publishing Co., 2da. Edición, Columbus, 1985).

[24] Rosero, A. y Collazos, F., *La pregunta como eje desencadenante en la búsqueda de un aprendizaje significativo*, Institución Educativa INEM, (2002). Disponible http://www.iered.org/archivos/Proyecto_CTS-INEM/aroero.pdf Última consulta 20 septiembre 2009.

[25] Valera, G. y Madriz, G., *Las preguntas en la enseñanza de las ciencias humanas. Un estudio ecológico de aula universitaria*, Revista Iberoamericana de Educación (Organización de Estados Iberoamericanos), (2000). Disponible http://www.rieoei.org/deloslectores/034_Madriz.PDF Última consulta 4 octubre 2009.

[26] Baquero, R., *Vygotsky y el aprendizaje escolar*, (Ed. Aique, Argentina, 1997).

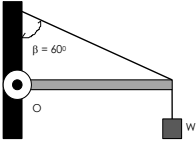
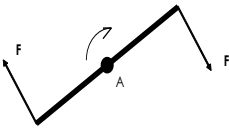
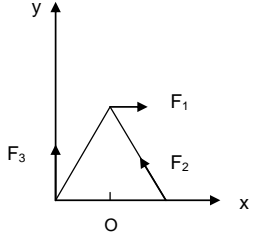
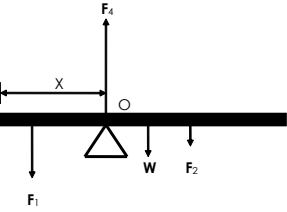
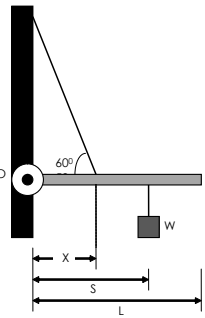
[27] Frawley, W., *Vigotsky y la ciencia cognitiva*, (Ed. Paidós Ibérica, España, 1999).

[28] CEPAL- UNESCO, *Educación y conocimiento: eje de la transformación productiva con equidad*, (CEPAL-OREALC, Chile, 1992).

[29] Novak, J. D. y Gowin D. B., *Aprendiendo a aprender*, (Martínez Roca, Barcelona, 1988).

APÉNDICE

Examen aplicado. Columnas: I. Número de problema, II. Figura, III. Datos, IV. Preguntas

I	II	III	IV
1		W	La tensión en la cuerda
2		F, L	Torque total sobre la vigueta respecto a A
3		F ₁ , F ₂ , F ₃	Torque total sobre la placa triangular respecto a O
4		X, L, F ₁ , F ₂ , W	Posición de un soporte para mantener el equilibrio
5		L, S, X, W, W _B	Tensión en la cuerda superior Reacción de O sobre la viga