

LA TEORÍA DE LOS CAMPOS CONCEPTUALES DE VERGNAUD, LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS Y LA INVESTIGACIÓN EN EL ÁREA¹

La teoría de los campos conceptuales: un resumen

La teoría de los campos conceptuales de Gérard Vergnaud es una teoría psicológica cognitivista que supone que el núcleo del desarrollo cognitivo es la conceptualización de lo real (1996a, p. 118). Es una teoría psicológica de conceptos en la cual la conceptualización es considerada la piedra angular de la cognición (1998, p. 173). Para Vergnaud, el conocimiento está organizado en *campos conceptuales*, cuyo dominio, de parte del aprendiz, ocurre a lo largo de un vasto período de tiempo, a través de experiencia, madurez y aprendizaje (1982, p. 40).

Campo conceptual es un conjunto informal y heterogéneo de problemas, situaciones, conceptos, relaciones, estructuras, contenidos y operaciones de pensamiento, conectados unos a otros y, probablemente, entrelazados durante el proceso de adquisición (ibid.). Campo conceptual es definido también como siendo, en primer lugar, un conjunto de *situaciones* cuyo dominio requiere, a su vez, el dominio de varios conceptos, procedimientos y representaciones de naturalezas distintas (1998, p. 141; 1990, p. 146). *Conceptos* son definidos por tres conjuntos: el primero es un conjunto de situaciones que constituyen el *referente* del concepto, el segundo es un conjunto de invariantes operatorios (teoremas y conceptos-en-acción) que dan el *significado* del concepto, y el tercero es un conjunto de representaciones simbólicas que componen su *significante*.

Como son las situaciones que dan sentido a los conceptos es natural definir campo conceptual, sobre todo, como conjunto de situaciones. Un concepto se torna significativo a través de una variedad de situaciones (1994, p. 46), pero el sentido no está en las situaciones en sí mismas, así como no está en las palabras ni en los símbolos (1990, p. 158). El sentido es una relación del sujeto con situaciones y significantes. Pero precisamente, son los *esquemas*, i. e. las acciones y su organización, evocados en el sujeto por una situación o por un significante que constituyen el sentido de esa situación o de ese significante para ese individuo (1990, p. 158; 1993, p. 18). Vergnaud considera que los esquemas necesariamente se refieren a situaciones, a tal punto que debería hablarse de interacción esquema-situación en vez de interacción sujeto-objeto. Los esquemas tienen como ingredientes esenciales aquello que Vergnaud llama *invariantes operatorios*, i. e., conceptos-en-acción y teoremas-en-acción que constituyen la parte conceptual de los esquemas, es decir, los conocimientos contenidos en los esquemas.

de situaciones, pero solo no se capta el significado. El papel mediador del profesor es esencial (1994, p. 44).

Teorema-en-acción es una proposición considerada como verdadera sobre lo real; *concepto-en-acción* es una categoría de pensamiento tenida como pertinente (1996 c, p. 202). Ese conocimiento es principalmente implícito y el aprendiz tiene dificultades en explicarlo o expresarlo, pero eso no significa que tal conocimiento no pueda ser explicitado. Es a través del proceso de explicitación del conocimiento implícito – ahí el profesor tiene un papel mediador fundamental – que los teoremas-en-acción y conceptos-en-acción pueden tornarse verdaderos teoremas y conceptos científicos. Una proposición explícita puede ser debatida, una proposición tenida como verdadera de manera totalmente implícita, no. Así, el carácter del conocimiento cambia si es comunicable, debatido y compartido (op. cit, p. 204).

La figura 1 presenta un mapa conceptual para la teoría de Vergnaud, o sea, su diagrama conceptual destacando los conceptos-llave de la teoría y sus principales interrelaciones. Las palabras que aparecen sobre las líneas conectando los conceptos procuran explicitar la naturaleza de la relación entre ellas. Por ejemplo, la relación entre situaciones y conceptos es *referente*, pues las situaciones son las que dan sentido al concepto, i. e., constituyen el referente del concepto. Otro ejemplo: la interacción entre situaciones y esquemas es la fuente primaria de las representaciones simbólicas y éstas constituyen el *significante* de un concepto. Las flechas, cuando existen, sugieren apenas una dirección para la lectura.

Al mismo tiempo que se aparta de Piaget – ocupándose del estudio del funcionamiento cognitivo del sujeto-en-situación, en vez de ocuparse de operaciones lógicas generales o de estructuras generales de pensamiento y tomando como referencia el propio contenido de conocimiento y el análisis conceptual del dominio de ese conocimiento (1994, p. 41; Franchi, 1999, p. 160) – la teoría de Vergnaud, tiene una fuerte base piagetiana que se manifiesta principalmente en el importante papel que el concepto de esquema tiene en esa teoría. Por otro lado, tiene también influencia vygotskiana pues considera al profesor como importante mediador en el largo proceso que caracteriza el progresivo dominio de un campo conceptual por el alumno. Su tarea consiste principalmente en ayudar al alumno a desarrollar su repertorio de esquemas y representaciones. Nuevos esquemas no pueden ser desarrollados sin nuevos invariantes operatorios. El lenguaje y los símbolos son importantes en ese proceso de acomodación y el profesor hace amplio uso de ellos en su función mediadora. Mas el principal acto mediador del profesor es el de proveer situaciones fructíferas a los alumnos (1998, p. 181). Un concepto o una proposición, se tornan significativos a través de una variedad

de situaciones, pero solo no se capta el significado. El papel mediador del profesor es esencial (1994, p. 44).

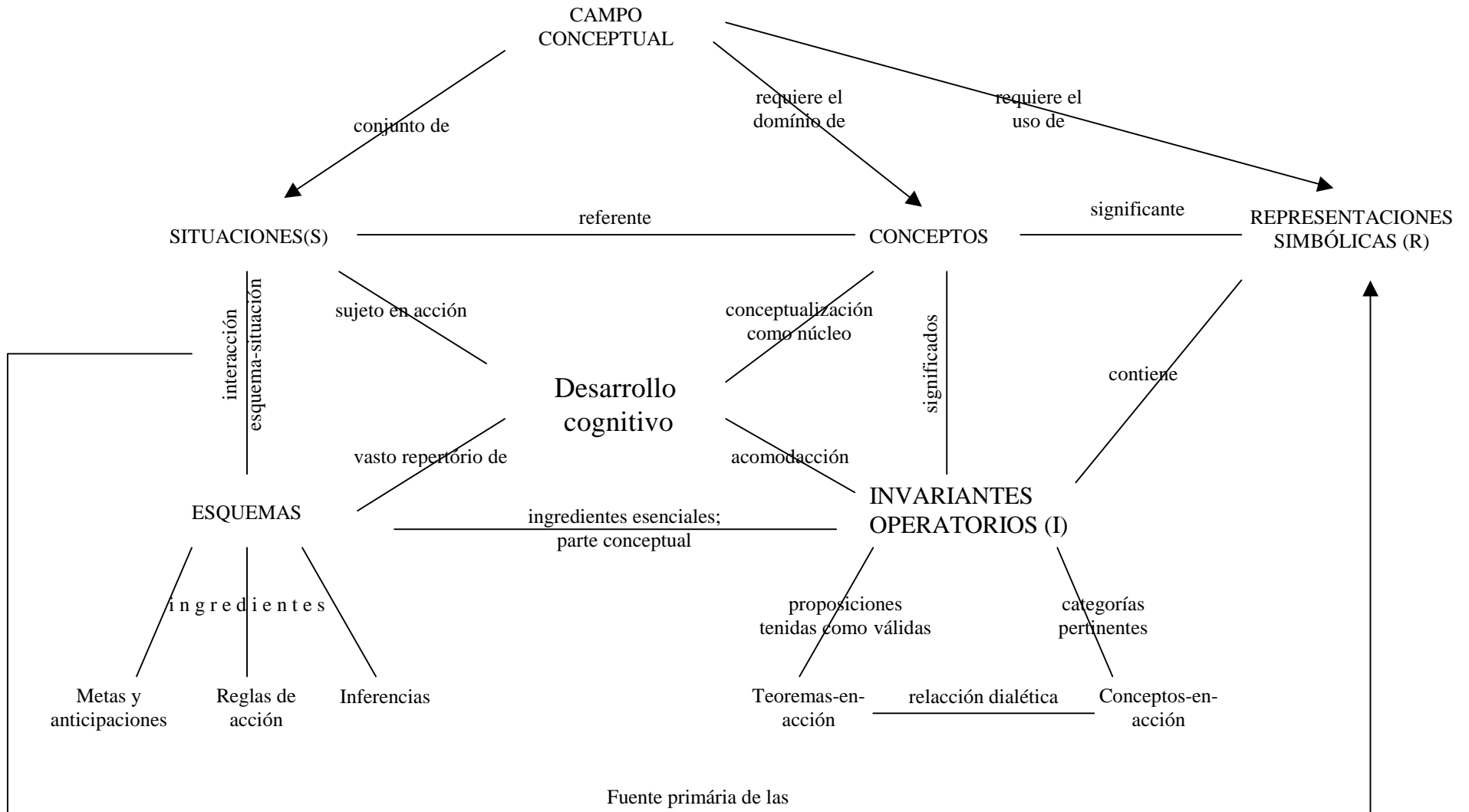


Figura 1. Un mapa conceptual para la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud (M.A. Moreira, 2002)

La teoría de los campos conceptuales, la enseñanza de las ciencias y la investigación en ese área

Basta prestar atención a la bibliografía usada en este trabajo para percibir que la teoría de Vergnaud ha sido utilizada principalmente como referencial para la educación matemática. Nada más natural, pues las investigaciones de Vergnaud que sustentan su teoría, han focalizado el aprendizaje y la enseñanza de la matemática, particularmente de las estructuras aditivas y multiplicativas. No obstante, como fue dicho en la introducción, esa teoría no es específica de matemática y justamente por eso este texto tiene por objetivo describirla y divulgarla entre profesores de ciencias e investigadores en educación de ciencias.

En las próximas secciones serán comentadas algunas implicaciones de la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud para la enseñanza de las ciencias y para la investigación en ese campo.

Conocimiento previo/aprendizaje significativo

La teoría de los campos conceptuales destaca que la adquisición de conocimientos es moldeada por las situaciones y problemas previamente dominados y que ese conocimiento tiene, por lo tanto, muchas características contextuales. Así, muchas de nuestras concepciones vienen de las primeras situaciones que fuimos capaces de dominar o de nuestra experiencia tratando de modificarlas (1996a, p. 117). Sin embargo existe, probablemente, una laguna considerable entre los invariantes que los sujetos construyen al interactuar con el medio y los invariantes que constituyen el conocimiento científico.

Las concepciones previas de los alumnos han sido consideradas como errores, concepciones ingenuas, concepciones alternativas, en relación a las concepciones científicas. Para Vergnaud (1990, p. 69), esta manera de concebir el conocimiento previo supone al niño, al alumno o al aprendiz adulto, como incompletos, imperfectos o deficientes en comparación con los adultos especialistas. Este abordaje, según él, es inadecuado para las cuestiones de desarrollo cognitivo allí involucradas. Sería mucho más fructífero considerar al sujeto como un sistema dinámico con mecanismos regulatorios capaces de asegurar su progreso cognitivo.

Muchas de las concepciones erróneas de los alumnos derivan del hecho de que ellos atribuyen a ciertas palabras usadas en ciencias para representar conceptos, el mismo significado que atribuyen a esas mismas palabras diariamente. Inclusive, de una ciencia a otra, los significados de una misma palabra pueden ser distintos, pero el alumno puede no captarlos como distintos.

Las predicciones que los estudiantes hacen para responder cuestiones del tipo "Qué acontecerá si...", o las explicaciones que dan para responder cuestiones del tipo "explique", "interprete", "justifique", tienen, según Vergnaud (ibid, p. 73), algunos puntos en común. Por ejemplo, focalizan características perceptivas y relacionadas con eventos de la situación: acciones, movimientos, cambios en el aspecto (color, aparición

de burbujas, humo, vapor, etc.), describen los elementos de la situación únicamente en términos de sus propiedades y funciones; conciben de manera asimétrica las interacciones entre elementos de la situación; implican secuenciación temporal y espacial. Estos modos de comprensión que son, esencialmente, del tipo "relacionado a evento", diferente del tipo "conceptual" usado en el campo de las ciencias, son inadecuados y frecuentemente llevan a previsiones erróneas.

La persistencia de las llamadas concepciones alternativas, inclusive en estudiantes de cursos científicos avanzados, han recibido varias interpretaciones, pero Vergnaud argumenta (ibid, p. 74) que prácticamente en todas ellas, el sistema de percepción visual, tiene un papel preponderante en la construcción del conocimiento por los sujetos, pero poca atención se le ha otorgado al papel funcional de esas concepciones y pocas investigaciones han sido hechas sobre los problemas que los sujetos encuentran para construirlas. Por ejemplo, los "errores" encontrados en algunos estudios frecuentemente provienen del hecho de que los sujetos se enfrentan con cuestiones que nunca se propusieron antes o que involucran valores no usuales de las variables de una situación dada. Otro ejemplo de las dificultades enfrentadas por los sujetos está en el hecho de que los modelos científicos hacen uso de entidades que generalmente no son sensorialmente accesibles. En Física, por ejemplo, los estudiantes enfrentan una dificultad que también existe en Álgebra: la verificación del significado de las representaciones simbólicas depende no sólo de la habilidad que el sujeto tenga para representar las entidades y las relaciones entre ellas, sino principalmente de elementos conceptuales que deben ser tenidos en cuenta (conceptos como sistema, estado, interacción, transferencia, conservación, sólo para mencionar algunos). (ibid, p. 76).

Lo que todo esto quiere decir es que es normal que los alumnos presenten tales concepciones y que ellas deben ser consideradas como precursoras de conceptos científicos a ser adquiridos. La activación de esos precursores es necesaria y debe ser guiada por el profesor.

Las concepciones previas de los alumnos contienen teoremas y conceptos-en-acción que no son verdaderos teoremas y conceptos científicos pero que pueden evolucionar hacia ellos. Sin embargo, como ya fue dicho, el hiato entre los invariantes operatorios del alumno y los del conocimiento científico, es grande de modo que la mudanza conceptual podrá llevar mucho tiempo.

Por otro lado, puede ocurrir que ciertos conceptos podrán ser contruídos solamente si ciertas concepciones previas fuesen abandonadas. Quiere decir, que el conocimiento previo puede funcionar como obstáculo epistemológico. (ibid., p. 83). En este caso, la acción mediadora del profesor es también imprescindible.

La construcción del conocimiento por el aprendiz no es un proceso lineal, fácilmente identificable. Al contrario, es complejo, tortuoso, demorado, con avances y retrocesos, continuidades y rupturas. El conocimiento previo es determinante en el progresivo dominio de un campo conceptual, pero también puede, en algunos casos, ser un impedimento. Continuidades y rupturas no son, por lo tanto, excluyentes. Puede haber continuidad y ruptura. El Álgebra, por ejemplo, se apoya en la Aritmética pero aún así, para aprenderla es necesario romper con la Aritmética. La Mecánica Clásica y la

Mecánica Cuántica presentan continuidades, pero para aprender esta es preciso rupturas con aquella.

En la enseñanza, es necesario desestabilizar cognitivamente al alumno, pero no demasiado. Es preciso identificar sobre cuáles conocimientos previos el niño se puede apoyar para aprender, pero también es necesario distinguir cuáles son las rupturas necesarias. Quiere decir, es preciso proponer también, cuidadosamente, situaciones para las cuales los alumnos no tienen donde apoyarse, o no se deben apoyar en conocimientos previos.

Las ideas de Vergnaud sobre el papel del conocimiento previo (que puede ser "alternativo") como precursor de nuevos conocimientos (que pueden ser científicos) y sobre las continuidades y rupturas en la construcción del conocimiento, parecen tener mucho que ver con la teoría del aprendizaje significativo de Ausubel (Ausubel et al., 1980; Moreira, 1999 a y b). Para Ausubel, el conocimiento previo es el principal factor, aislado, que influencia en la adquisición de nuevos conocimientos. El aprendizaje significativo se caracteriza por la interacción entre el nuevo conocimiento y el conocimiento previo. Es en esa interacción que el nuevo conocimiento adquiere significados y el conocimiento previo se modifica y/o adquiere nuevos significados. Pero tal interacción no es arbitraria, o sea, el nuevo conocimiento adquiere significados por la interacción con conocimientos previos específicamente relevantes. En otras palabras la interacción no es con cualquier conocimiento previo. En este sentido, en la enseñanza es preciso identificar sobre cuales conocimientos previos el alumno se puede apoyar para aprender. Sin embargo, el efecto del conocimiento previo en el aprendizaje es tan fuerte que en ciertos casos es preciso romper con él. Por ejemplo, en la enseñanza del concepto de aprendizaje significativo puede no ser adecuado apoyarse en la idea de interacción, pues esta puede estar fuertemente arraigada en la estructura cognitiva como una relación asimétrica que podría dificultar la comprensión del hecho de que en el aprendizaje significativo tanto el nuevo conocimiento como el conocimiento previo se modifican. Por otro lado, la comprensión del aprendizaje significativo como una relación simétrica, o de acción recíproca, juntamente con el aprendizaje de otros procesos que implican acción recíproca, podría llevar a una evolución de los conceptos y teoremas-en-acción asociados a la idea de interacción (que es una idea-llave en la ciencia) para otros progresivamente más próximos de aquellos científicamente compartidos.

Pero si la teoría de los campos conceptuales es compatible con la teoría del aprendizaje significativo, por qué no quedarse con ésta que es bastante más conocida y aceptada en la enseñanza de las ciencias? La respuesta es que pueden ser tomadas como complementarias: La teoría de Ausubel, es una teoría del aprendizaje en el aula, de adquisición de cuerpos organizados de conocimiento en situación formal de enseñanza, en tanto que la teoría de Vergnaud es una teoría psicológica del proceso de conceptualización de lo real que se propone localizar y estudiar continuidades y rupturas entre conocimientos desde el punto de vista de su contenido conceptual. La teoría de Vergnaud no es una teoría de enseñanza de conceptos explícitos y formalizados, sin embargo tiene subyacente la idea de que los conocimientos-en-acción (ampliamente explícitos) pueden evolucionar, a lo largo del tiempo, hacia los conocimientos científicos (explícitos). La teoría de Ausubel, por otro lado, se ocupa exactamente de la adquisición de conceptos explícitos y formalizados, llegando inclusive a proponer principios programáticos – como la diferenciación progresiva, la reconciliación integradora y la consolidación – para la organización de la enseñanza.

Al rescatar y enriquecer el concepto del esquema introduciendo los conceptos de teorema-en-acción y concepto-en-acción, al definir concepto como un triplete, al colocar la conceptualización en el ¿âmbito? del desenvolvimiento cognitivo, al priorizar la interacción sujeto-situación y, como no podría dejar de ser, al definir campo conceptual, Vergnaud suministra un referencial muy rico para comprender, explicar e investigar el proceso de aprendizaje significativo. La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud parece proveer un referencial adecuado para analizar la estructura fina de la teoría del aprendizaje significativo de Ausubel. Lo que para Ausubel son campos organizados de conocimientos, para Vergnaud son campos conceptuales.

Profesor/Enseñanza

Un determinado campo conceptual, como el de la Electricidad, por ejemplo, puede ser progresivamente dominado por un aprendiz, pero la enseñanza, a través de la acción mediadora del profesor, es esencial para eso. Los profesores son mediadores. Su tarea es la de ayudar a los alumnos a desarrollar su repertorio de esquemas y representaciones (1998, p. 180). Desarrollando nuevos esquemas los alumnos se tornan capaces de enfrentar situaciones cada vez más complejas. Nuevos esquemas no pueden ser desarrollados sin nuevos invariantes operacionales. El lenguaje y los símbolos son importantes en ese proceso. Los profesores usan palabras y sentencias para explicar, formular cuestiones, seleccionar informaciones, proponer metas, expectativas, reglas y planes. Sin embargo, su acción mediadora más importante es la de suministrar situaciones (de aprendizaje) fructíferas para los estudiantes (ibid.). Tales situaciones deben ser cuidadosamente elegidas, ordenadas, diversificadas, presentadas en el momento cierto y dentro de la zona de desarrollo próximo del alumno. Sin duda, una tarea difícil pero esencial.

Para Vergnaud, el desarrollo cognitivo depende de situaciones y conceptualizaciones específicas. Son las situaciones que dan sentido a los conceptos; ellas son las responsables por el sentido atribuido al concepto (Barais & Vergnaud, 1990, p. 78); un concepto se torna significativo a través de una variedad de situaciones (1994, p. 46), pero el sentido no está en las situaciones en sí mismas, así como no está en las palabras ni en los símbolos (1990, p. 158).

Cabe aquí recordar que aunque estemos hablando de enseñanza y del papel del profesor en la perspectiva de Vergnaud, las situaciones antes referidas no son situaciones didácticas propiamente dichas, pero sí tareas, problemas.

El papel del profesor como mediador, proveedor de situaciones problemáticas fructíferas, estimuladoras de la interacción sujeto-situación que lleva a la ampliación y a la diversificación de sus esquemas de acción, o sea, al desarrollo cognitivo, deja aún más evidente que la teoría de Vergnaud tiene también fuerte influencia vygotskyana.

Hay, además, otra importante implicación de la teoría de los campos conceptuales para la enseñanza: la cuestión del conocimiento implícito y del conocimiento explícito. La escuela, según Vergnaud (1994, p. 47), sobrestima el conocimiento explícito y subestima, hasta inclusive desvaloriza, el conocimiento implícito de los alumnos. No obstante, la mayor parte de nuestra actividad física y mental, de nuestro comportamiento, está constituida por esquemas y éstos tienen como componentes esenciales los invariantes operatorios (conceptos y teoremas-en-acción)

que constituyen los conocimientos contenidos en los esquemas y que son ampliamente implícitos. Quiere decir, hay mucho de implícito en los esquemas. Los alumnos, en general, no son capaces de explicar, de expresar en lenguaje natural sus teoremas-en-acción aunque sean capaces de resolver ciertas tareas (situaciones). No sólo los alumnos, cualquier persona muchas veces es incapaz de poner en palabras cosas que hace muy bien, conocimientos que tiene. Hay un hiato, entre la acción y la formalización de la acción. Actuamos con el auxilio de invariantes operat6rios sin expresarlos o sin ser capaces de expresarlos. Un an6lisis cognitivo de esas acciones, muchas veces revela la existencia de potentes teoremas y conceptos-en-acci6n impl6citos. Ese conocimiento, sin embargo, no puede ser, apropiadamente, llamado conceptual pues el conocimiento conceptual es necesariamente expl6cito (Vergnaud et al., 1990, p. 20). Por lo tanto, palabras y otros s6mbolos, sentencias y otras expresiones simb6licas, son instrumentos cognitivos indispensables para la transformaci6n de invariantes operat6rios, impl6citos, en conceptos y teoremas cient6ficos, expl6citos. (ibid.) Quiere decir, la formalizaci6n – en la ense1anza dirigida hacia la formalizaci6n – es necesaria, pero es preciso tener en cuenta que las ideas cient6ficas evolucionan en el alumno, durante un largo periodo de desarrollo cognitivo a trav6s de una variedad de situaciones y actividades y que cualquier conocimiento formal y axiomatizado que el alumno presenta puede no ser m6s que la parte visible de un *iceberg* formado basicamente por conocimientos impl6citos (op. cit., p. 21). La ense1anza de las ciencias no puede dejar de lado la simbolizaci6n y la formalizaci6n, por que la ciencia es simb6lica, formal y expl6cita, pero es preciso tener siempre presente que el conocimiento del alumno, como de cualquier outro sujeto, es en gran parte, impl6cito. La ense1anza de las ciencias debe facilitar la transformaci6n del conocimiento impl6cito en expl6cito, sin subestimarlos o desvalorizarlos. La trayectoria del aprendiz a lo largo de un campo conceptual cient6fico es sinuosa, difusa, dif6cil y, sobretudo, lenta. No se puede esperar que un alumno domine un campo conceptual como el de la Termodin6mica, por ejemplo, a trav6s de una o dos unidades did6cticas desarrolladas a lo largo de dos o tres meses. Es normal que el alumno contin6e usando conocimientos impl6citos al mismo tiempo que se va apropiando de conocimientos expl6citos de la ciencia. La perspectiva de los campos conceptuales es progresiva, no sustitutiva. O sea, el campo conceptual va siendo progresivamente dominado por el aprendiz; el conocimiento impl6cito va evolucionando progresivamente hacia el expl6cito en vez de ser sustituido por 6l. Eso como alerta Vergnaud, puede elevar mucho tiempo, muchos a1os talvez, pero la ense1anza y, en 6ltima instancia, el profesor tienen un papel esencial en ese proceso. Sin la ense1anza, no hay ninguna raz6n para acreditar que el sujeto pase a dominar campos conceptuales complejos y formalizados como los cient6ficos.

Resoluci6n de problemas

La ense1anza de las ciencias tradicionalmente involucra tres aspectos principales profundamente interrelacionados: el conocimiento te6rico (conceptos, leyes, principios, ecuaciones), las pr6cticas de laboratorio (experimentos, demostraciones, procedimientos cient6ficos) y la resoluci6n de problemas (abiertos, cerrados, como investigaci6n, de l6piz y papel). Obviamente, cualquier profesor experimentado sabe que esa distinc6n es artificial: el concepto conocimiento cient6fico es producido a trav6s de la interacci6n entre el dominio conceptual y el metodol6gico. Sin embargo, en la perspectiva de Vergnaud esta interdependencia entre teor6a y pr6ctica queda muy clara.

Como ya fue dicho reiteradamente a lo largo de este texto², son las situaciones las que dan sentido a los conceptos; un concepto se torna significativo a través de una variedad de situaciones, los conocimientos de los alumnos son moldeados por las situaciones que encuentran y, progresivamente, dominan. Aunque el concepto de situación tenga, en la teoría de los campos conceptuales, el significado de tarea, podemos suponer que en el ámbito de las ciencias, situación significa también problema. O podemos hablar de situaciones y problemas como hace el propio Vergnaud al decir que "la adquisición del conocimiento es moldeada por las situaciones y problemas previamente dominados y, por lo tanto, el conocimiento del sujeto tiene muchos aspectos locales" (1994, p. 42). En otro trabajo, bastante anterior a esse, Vergnaud dice que en verdad, los conceptos se desarrollan a través de la resolución de problemas, y ese desarrollo es lento" (1983b, p. 172).

Eso significa que la resolución de problemas o las situaciones de resolución de problemas son esenciales para la conceptualización, pero, como llama la atención Vergnaud (1994, p. 42) "un problema no es un problema para un individuo a menos que él o ella tenga conceptos que lo/la tornen capaz de considerarlo como un problema para si mismo". O sea, hay una relación dialéctica y cíclica entre la conceptualización y la resolución de problemas. Para Vergnaud, la problematización va mucho más allá de la abstracción de regularidades del mundo observable. Los problemas son teóricos y prácticos, no meramente empíricos, incluso para los niños pequeños. Cuando un clase de problemas es resuelta por un individuo (lo que significa que ella o él desarrolla un esquema eficiente para lidiar com todos o casi todos los problemas de esa clase), el carácter problemático de esa clase específica desaparece (ibid.). Pero esa competencia desarrollada por el individuo lo habilita para reconocer o considerar nuevos problemas para si mismo; se trata entonces de un proceso cíclico.

Vergnaud llama "ilusión pedagógica" (1983 b, p. 173) la actitud de los profesores que creen que la enseñanza, de Física, digamos, consiste en la presentación organizada, clara, rigurosa de las teorías formales y que cuando eso está bien hecho los alumnos aprenden. Se trata de una ilusión porque, según el, es através de situaciones de resolución de problemas que los conceptos se desarrollan en el alumno y las situaciones de resolución de problemas que tornan los conceptos significativos para los alumnos pueden estar, por lo menos inicialmente, muy distantes del formalismo presentado por el profesor. Pero, a pesar de eso, tales situaciones son esenciales para el desarrollo de conceptos. Es decir, al mismo tiempo que las situaciones formales son necesarias es preciso tener en consideración que el alumno puede estar aún muy lejos de ellas (1983b, p. 172).

Nuevamente podemos establecer un cierto paralelo entre las teorías de Ausubel y Vergnaud. El aprendizaje receptivo de Ausubel podría ser interpretado como la ilusión pedagógica de Vergnaud, mas no es así. Ausubel, ciertamente defendería la presentación organizada, clara, rigurosa de las teorías formales, empero, siempre que fuesen potencialmente significativas lo que implicaría que el aprendiz tuviese el conocimiento previo adecuado y se dispusiese a aprender. Eso estaría de acuerdo con la postura de Vergnaud en el sentido de que el dominio de situaciones previas es importante para el domino de situaciones nuevas. Agréguese a eso que, para Ausubel, la resolución de problemas, en particular de situaciones problemáticas nuevas y no

² Acordemos que un campo conceptual es, en primer lugar, un conjunto de situaciones (1998, p. 141; 1990, p. 5) cuyo dominio requiere el dominio de varios conceptos de naturalezas distintas.

familiares que requieren máxima transformación del conocimiento adquirido, es la principal evidencia del aprendizaje significativo (Ausubel et al., 1980).

La teoría de Vergnaud parece ser, entonces, un buen referencial para analizar las dificultades de los alumnos en la resolución de problemas en ciencias y, consecuentemente, de la conceptualización en ciencias. Tales dificultades podrían por ejemplo, ser examinadas en términos de invariantes operatorios, quiere decir, en términos de cuáles son los conceptos y teoremas-en-acción que los estudiantes estarían usando para la resolución de problemas y de cuán distantes estarían de los conceptos y teoremas científicos adecuados a la resolución del problema pautado.

Representaciones³

En el triplete C(S, I, R) que define concepto (p. 4 de este trabajo, Vergnaud decía que S (el conjunto de situaciones que dan sentido al concepto) es la realidad y (I, R) la representación de esa realidad que puede ser considerada como dos aspectos interactuantes del pensamiento, el significado (I) y el significante (R).

Eso sugiere que, inicialmente, Vergnaud usaba el término representación como si fuese un sistema simbólico que significaría algo para el sujeto: un sistema de signos y una sintaxis, u operaciones sobre elementos del sistema. Para él, conceptos y símbolos eran dos caras de la misma moneda y se debería siempre prestar atención al uso que los alumnos hacían de los símbolos a la luz del uso que hacían de los conceptos. Quiere decir, la habilidad en resolver situaciones en lenguaje natural sería el mejor criterio para la adquisición de conceptos pero, por otro lado, la simbolización ayudaría en eso (1982, p. 57). Así como hay problemas más fácilmente resolvibles que otros, y procedimientos más fáciles que otros, habría representaciones simbólicas más potentes que otras; ecuaciones, por ejemplo, son más potentes que los diagramas de Euler-Venn. Sin embargo, tales ecuaciones deberían representar situaciones significativas.

Sin embargo, en otro trabajo, más reciente (1998, p. 173), Vergnaud habla sobre teorías y representaciones y dice que, para ser útil, una teoría de esas debe contener la idea de que las representaciones ofrezcan posibilidades de inferencia, i.e., que ellas nos tornen capaces de anticipar eventos futuros y generar conductas para llegar a algún efecto positivo o evitar algún efecto negativo.

Él dice (op. cit, p. 174) que tenemos representaciones computables para gestos y acciones sobre el mundo físico, como también para comportamientos verbales y para interacciones sociales. Tales representaciones pueden ser correctas, erradas, vagas o precisas, explícitas o totalmente implícitas; en cualquier caso, ellas funcionan como sustitutos computables de la realidad y, por lo tanto, están hechas de teoremas-en-acción, proposiciones tenidas como verdaderas.

La construcción del conocimiento consiste, entonces, en la progresiva construcción de representaciones mentales que son homomórficas a la realidad, para algunos aspectos y para otros no (1990, p. 22). Por un lado, la representación es activa,

³ El puente entre la teoría de Vergnaud y la teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird hecha en esta sección se encuentra bien más elaborada en el trabajo "Más allá de la detección de los modelos mentales de los estudiantes. Una propuesta representacional", de Ileana Greca y Marco Antonio Moreira, publicado en *Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias*, www.if.ufrgs.br/ienci, 7(1), 2002.

pragmática y operacional, por otro, es discursiva, teórica y simbólica (ibid). Pero hay importantes lagunas entre lo que está representado en la mente de un individuo y el significado usual de las palabras y otros signos, pues sistemas lingüísticos y semióticos no tienen por finalidad expresar exactamente lo que cada individuo tiene en mente cuando enfrenta una situación, seleccionando y procesando la información (1998, p. 176). Para Vergnaud, la relación entre situaciones y esquemas es la fuente primaria de la representación, pero su teoría se aleja mucho de la visión de que un objeto puede ser representado mentalmente de manera no ambigua a través de símbolos. Por mayor que sea (y es grande) el papel de los símbolos en el pensamiento, el conocimiento no es, en esencia, simbólico. El reconocimiento de invariantes en la acción y la percepción, y la progresiva construcción de objetos y predicados de nivel más alto, son los aspectos más esenciales del conocimiento. (op. cit., p. 177).

Podemos, entonces, hacer un puente entre los significados más recientes sobre representación en la teoría de Vergnaud y la teoría, también reciente, de los modelos mentales (Johnson-Laird, 1983, Moreira, 1996). Decir que tenemos representaciones computables para gestos y acciones sobre el mundo físico, para comportamientos verbales y para interacciones sociales, y que tales representaciones – que pueden ser correctas o erradas, vagas o precisas, explícitas o (principalmente) implícitas – permiten hacer inferencias es, prácticamente, decir que tales representaciones son modelos mentales. Johnson-Laird define modelos mentales como análogos estructurales de estados de cosas del mundo. Son instrumentos de comprensión e inferencia. Cuando nos enfrentamos en una situación nueva, construimos un modelo mental para entenderla, describirla y prever lo que va a suceder. Este modelo puede ser correcto o no (en el sentido de que sus previsiones no son correctas científicamente), puede ser vago, confuso, incompleto, pero es, sobretodo, funcional para su constructor y puede ser modificado recursivamente hasta alcanzar dicha funcionalidad.

Modelos mentales pueden ser básicamente proposicionales, i.e., constituidos principalmente de proposiciones, o básicamente imagísticos, o sea, contruidos predominantemente con imágenes (Greca y Moreira, 1997). Entonces, las proposiciones contituyentes de los modelos mentales pueden ser interpretadas como teoremas -en-acción de Vergnaud. Como él mismo dice, las representaciones funcionan como sustitutos computables de la realidad y, por lo tanto, están hechas por teoremas-en-acción. Con el progresivo dominio de un campo conceptual, los teoremas-en-acción (ampliamente implícitos) se van aproximando a los teoremas científicos (proposiciones explícitas). Análogamente, a medida que el sujeto adquiere más conocimientos científicos sus modelos mentales se aproximan (en el sentido de que permiten dar significados científicamente aceptados) de los modelos científicos.

Se puede, así decir que los modelos mentales de Johnson-Laird contienen aquello que Vergnaud llama teoremas-en-acción, o sea proposiciones tenidas com verdaderas sobre lo real. Pero esta aparente compatibilidad entre las dos teorías puede ir más allá, pues los conceptos-en-acción de Vergnaud también pueden integrar modelos mentales. Conceptos-en-acción son objetos, predicados, o categorías de pensamiento, consideradas pertinentes, relevantes a la situación. Análogamente, según el principio del constructivismo (Johnson-Laird, 1983, p. 398). Un modelo mental es construido a partir de señales ("tokens") dispuestos en una estructura particular para representar un cierto estado de cosas (es decir, una cierta situación). Si interpretásemos esos señales

("tokens") como objetos, predicados o categorías de pensamiento pertinentes, diríase que los modelos mentales contienen también conceptos-en-acción.

Sin embargo, es importante no confundir modelos mentales con esquemas de asimilación. Para Vergnaud, los invariantes operatorios (teoremas y conceptos-en-acción) son componentes esenciales de los esquemas y acabamos de decir que los modelos mentales contienen proposiciones y señales ("tokens") que pueden ser interpretadas como invariantes operatorios, pero, aún así, modelos mentales y esquemas son constructos distintos. Modelo mental es un instrumento de comprensión, construido en el momento de la comprensión y descartable si fuera alcanzada (para el constructor), la funcionalidad deseada (o sea, la comprensión, aunque no sea compartida científicamente). Esquema de asimilación es, según Vergnaud, la organización invariante del comportamiento para una determinada clase de situaciones. Por lo tanto, los esquemas de asimilación son más estables; el sujeto construye determinado esquema y lo utiliza para asimilar una cierta clase de situaciones, es decir, usa siempre el mismo esquema para cada situación de esa clase. Pero frente a una situación nueva, es preciso acomodar, es decir, construir un nuevo esquema de asimilación y es exactamente ahí que parece encajar bien la idea de modelo mental: para comprender una nueva situación el sujeto construye, inicialmente, un modelo mental (que, como fue dicho, puede contener invariantes operatorios), no un esquema de asimilación. En la medida en que la nueva situación deja de ser nueva y pasa a ser rutinaria, el modelo mental evoluciona hacia esquema de asimilación, quiere decir, se estabiliza. Pero eso no quiere decir que todo modelo mental vaya a transformarse en esquema de asimilación. Los modelos mentales son recursivos, lo que significa que van siendo construidos y modificados casi simultáneamente hasta que se tornen funcionales, entonces, pueden ser descartados o, talvez, "guardados" hasta que se tornen esquemas de asimilación. Se trata, por lo que parece, de un buen asunto para investigar.

Investigación

Como último tópico de este texto, se aborda la investigación en enseñanza de las ciencias desde el referencial de la teoría de los campos conceptuales. Veamos primeramente, entonces, lo que dice Vergnaud sobre la investigación en campos conceptuales.

Según él (1988, p. 149), el abordaje canónico del estudio de un campo conceptual incluye identificar y clasificar situaciones y, entonces, coleccionar datos sobre procedimientos y otras formas a través de las cuales los estudiantes expresan su raciocinio. Un ciclo de investigación se inicia con la identificación de niveles de objetos, relaciones y teoremas-en-acción. El ciclo continúa, entonces con la planificación de situaciones y materiales y su experimentación con alumnos, completándose con la construcción de representaciones simbólicas a través de la observación y el análisis de los diferentes fenómenos que ocurren (ibid.). Comienza, entonces, un segundo ciclo para mejorar el primero y, así, sucesivamente. El estudio del dominio de ciertos campos conceptuales no es un programa que pueda ser hecho por un investigador sólo, ni, tampoco, por un grupo de investigación aislado.

Por lo tanto, el primer paso para estudiar el progresivo dominio de un campo conceptual por parte del alumno es identificar y clasificar situaciones. Pero eso involucra

dos ideas principales: diversidad e historia. Es decir, existe una gran variedad de situaciones en un determinado campo conceptual y los aprendizajes de los alumnos están moldeados por las situaciones con las cuales se han enfrentado y progresivamente dominado, particularmente con las primeras susceptibles de dar sentido a los conceptos y procedimientos que les queremos enseñar (1990, p. 150). La combinación de esas dos ideas dificulta el trabajo del investigador en enseñanza por que la primera lo dirige para el análisis, para la descomposición en elementos simples y para las posibles combinaciones de situaciones, en tanto que la segunda lo orienta hacia la búsqueda de situaciones funcionales casi siempre compuestas de varias relaciones, cuya importancia relativa está muy ligada a la frecuencia con que son encontradas (ibid.).

En otras palabras, el estudio psicogenético de la adquisición de un campo conceptual implica el análisis, en términos relacionales y jerárquicos, de las diferentes clases de problemas que pueden ser propuestas a los alumnos. Implica también el estudio de los diferentes procedimientos y representaciones simbólicas que el aprendiz utiliza (1982, p. 40). En relación con las representaciones, Vergnaud dice (1994, p. 43) que es una tarea esencial, teórica y empírica, de los investigadores entender por qué una cierta representación simbólica particular puede ser útil, bajo cuáles condiciones y cuándo y por qué puede ser provechosamente sustituida por otra más abstracta y general.

Aunque Vergnaud y varios investigadores que trabajan bajo el referencial de su teoría se hayan dedicado principalmente a la investigación en educación matemática y, en particular, al estudio de los campos conceptuales de las estructuras aditivas y multiplicativas, ese abordaje de la investigación ciertamente se aplica a la enseñanza de las ciencias, o a la educación en ciencias si preferimos esta terminología. En resolución de problemas, por ejemplo, se pueden analizar las dificultades de los alumnos en términos de invariantes operatorios. Quiere decir, los alumnos muchas veces resuelven problemas usando conocimientos-en-acción que pueden hasta conducirlos a una solución satisfactoria para una cierta situación, pero que no funcionan para otra ligeramente distinta de la primera porque tales conocimientos no son científicos y tampoco constituyen un esquema de asimilación que puede ser aplicado a una clase de situaciones. Por otro lado, tales conocimientos-en-acción – que son ampliamente implícitos – pueden ser precursores en la adquisición de conceptos científicos y, por lo tanto, deben ser identificados, i.e., investigados. Los trabajos de Sousa (2001) y de Sousa y Fávero (2002) en los cuales la resolución de problemas en Física fue investigada en una situación de interlocución entre un especialista y un novato, son un ejemplo en esa dirección. Costa y Moreira (2002) y Escudero y Moreira (2002) también están trabajando en resolución de problemas en Física y procurando interpretar las dificultades de los alumnos en la construcción de modelos mentales del enunciado a la luz de aspectos de la teoría de los campos conceptuales.

El estudio del aprendizaje de conceptos físicos también puede ser hecho desde el referencial teórico de Vergnaud. Para él, son las situaciones las que dan sentido al concepto, los invariantes operatorios los que constituyen su significado, y las representaciones simbólicas su significante. Por lo tanto, como sugiere Vergnaud, es preciso identificar y clasificar situaciones adecuadas al aprendizaje de determinado concepto, investigar los invariantes operatorios usados por los alumnos y procurar entender como, por qué y cuándo una cierta representación simbólica puede ayudar en la conceptualización. El trabajo de Lemeignan y Weil-Barais (1994) es tal vez pionero

en esa línea. Las investigaciones de Stipcich y Moreira (2002) sobre el concepto de interacción y de Moreira y Sousa (2002) respecto al concepto de potencial eléctrico están usando un referencial de Vergnaud para interpretar las dificultades de los alumnos en el aprendizaje significativo de esos conceptos.

Obviamente, la teoría de los campos conceptuales puede también ser utilizada como referente teórico en investigaciones sobre cambio conceptual. De un modo general, se puede decir que esa teoría es potencialmente útil en el análisis de las dificultades de los alumnos para la resolución de problemas en ciencias, en el aprendizaje de conceptos científicos y en el cambio conceptual. Una vez identificadas tales dificultades, esa misma teoría puede ayudar en la planificación de estrategias, o mejor, en la selección de situaciones instruccionales que puedan ayudar en la progresiva superación de tales dificultades o, en otras palabras, en el progresivo (y lento) dominio de el (los) campo(s) conceptual(es) involucrado(s). Ese dominio progresivo implica capacidad de resolver problemas, conceptualización y cambio (evolución) conceptual.

No tan obvia es la posibilidad de investigar cuestiones como el modelaje mental desde el referencial de Vergnaud, sin embargo una vez aceptada la compatibilidad, aludida en la sección anterior, entre la teoría de los modelos mentales y la teoría de los campos conceptuales, tal posibilidad sucede naturalmente. En fin, la potencialidad del uso de la teoría de Vergnaud en la investigación y en la enseñanza de las ciencias parece ser grande. En esta sección fueron apenas expuestas las posibilidades y referidos algunos estudios.

Conclusión

Este trabajo tuvo por objetivo describir la teoría de los campos conceptuales de Gérard Vergnaud, particularmente para una audiencia de profesores y de investigadores en enseñanza de las Ciencias. Esta teoría es bastante conocida en el área de la educación matemática, pero relativamente poco en el campo de la educación en ciencias y justamente por eso fue objeto de este texto.

Se trata de una teoría de base piagetiana, pero que se aleja bastante de Piaget al tomar como referencia el propio contenido de conocimiento y el análisis conceptual del progresivo dominio de ese conocimiento y también al ocuparse del estudio del desarrollo cognitivo del sujeto-en-situación en vez de operaciones lógicas generales y de estructuras generales del pensamiento. Al hacer eso, la teoría de Vergnaud presenta un gran potencial para describir, analizar e interpretar aquello que pasa en el aula en el aprendizaje de matemática y de ciencias. Probablemente, ese tipo de teoría es el de mayor utilidad para fundamentar la enseñanza y la investigación en enseñanza en esa área.

Además de describir la teoría propiamente dicha, se procuró en este texto establecer ¿ellos? con la teoría del aprendizaje significativo de Ausubel (otra "teoría del aula") y con la reciente teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird, así como destacar implicaciones para la enseñanza y para la investigación en enseñanza de las ciencias.

Bibliografía

- Ausubel, D.P., Novak, J.D. e Hanesian, H. (1980). *Psicologia educacional*. Rio de Janeiro: Interamericana.
- Barais, A.W. and Vergnaud, G. (1990). Students' conceptions in physics and mathematics: biases and helps. In Caverni, J.P., Fabre, J.M. and González, M. (Eds.). (1990). *Cognitive biases*. North Holland: Elsevier Science Publishers. pp. 69-84.
- Costa, S.S.C. e Moreira, M.A. (2002). *Modelos mentais e resolução de problemas em Física*. Proyecto en desarrollo.
- Escudero, C. e Moreira, M.A. (2002). *Inferencias y modelos mentales: un estudio en resolución de problemas acerca de los primeros contenidos de Física abordados en el aula por estudiantes de nivel médio*. Projeto de pesquisa em andamento.
- Franchi, A. (1999). Considerações sobre a teoria dos campos conceituais. In Alcântara Machado, S.D. et al. (1999). *Educação Matemática: uma introdução*. São Paulo. EDUC. pp. 155-195.
- Greca, I.M. and Moreira, M.A. (1997). The kinds of mental representations — models, propositions and images — used by college physics students regarding the concept of field. *International Journal of Science Education*, 19(6): 711-724.
- Johnson-Laird, P. (1983). *Mental models*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Lemeignan, G. and Weil-Barais, A. (1994). A developmental approach to cognitive change in mechanics. *International Journal of Science Education*, 16(1): 99-120.
- Moreira, M.A. (1996). Modelos mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, <http://www.if.ufrgs.br/ienci>, 1(6).
- Moreira, M.A. (1999a). *Teorias de aprendizagem*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária.
- Moreira, M.A. (1999b). *Aprendizagem significativa*. Brasília: Editora da UnB.
- Moreira, M.A. e Sousa, C.M.S.G. (2002). *Dificuldades de alunos de Física Geral com o conceito de potencial elétrico*. Proyecto de investigación en desarrollo.
- Sousa, C.M.S.G. (2001). *A resolução de problemas e o ensino de Física: uma análise psicológica*. Tese de doutoramento. Instituto de Psicologia, Universidade de Brasília.
- Sousa, C.M.S.G. e Fávero, M.H. (2002). *Um estudo sobre resolução de problemas em Física em situação de interlocução entre um especialista e um novato*. Apresentado en el VIII EPEF, Águas de Lindóia, SP, junio.
- Stipich, M.S. e Moreira, M.A. (2002). *El significado del concepto de interacción en estudiantes de nivel polimodal*. Proyecto de investigación en desarrollo.

- Vergnaud, G. (1982). A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. In Carpenter, T., Moser, J. & Romberg, T. (1982). *Addition and subtraction. A cognitive perspective*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum. pp. 39-59.
- Vergnaud, G. (1983a). Quelques problèmes théoriques de la didactique a propos d'un exemple: les structures additives. *Atelier International d'Eté: Recherche en Didactique de la Physique*. La Londe les Maures, Francia, 26 de junio a 13 de julio.
- Vergnaud, G. (1983b). Multiplicative structures. In Lesh, R. and Landau, M. (Eds.) *Acquisition of Mathematics Concepts and Processes*. New York: Academic Press Inc. pp. 127-174.
- Vergnaud, G. (1987). *Problem solving and concept development in the learning of mathematics*. E.A.R.L.I. Second Meeting. Tübingen.
- Vergnaud, G. (1988). Multiplicative structures. In Hiebert, H. and Behr, M. (Eds.). *Research Agenda in Mathematics Education. Number Concepts and Operations in the Middle Grades*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum. pp. 141-161.
- Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10 (23): 133-170.
- Vergnaud, G. et al. (1990). Epistemology and psychology of mathematics education. In Nesher, P. & Kilpatrick, J. (Eds.) *Mathematics and cognition: A research synthesis by International Group for the Psychology of Mathematics Education*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Vergnaud, G. (1993). Teoria dos campos conceituais. In Nasser, L. (Ed.) *Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro*. p. 1-26.
- Vergnaud, G. (1994). Multiplicative conceptual field: what and why? In Guershon, H. and Confrey, J. (1994). (Eds.) *The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics*. Albany, N.Y.: State University of New York Press. pp. 41-59.
- Vergnaud, G. (1996a). Education: the best part of Piaget's heritage. *Swiss Journal of Psychology*, 55(2/3): 112-118.
- Vergnaud, G. (1996b). A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos. *Revista do GEMPA*, Porto Alegre, Nº 4: 9-19.
- Vergnaud, G. (1996c). Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno a la didáctica. *Perspectivas*, 26(10): 195-207.
- Vergnaud, G. (1997). The nature of mathematical concepts. In Nunes, T. & Bryant, P. (Eds.) *Learning and teaching mathematics, an international perspective*. Hove (East Sussex), Psychology Press Ltd.

Vergnaud, G. (1998). A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, 17(2): 167-181.