

Escuela doctoral Savoirs Scientifiques

Laboratoire de Didactique André Revuz (LDAR)

**Construir un problema: un primer paso hacia la
investigación en ciencias.**

*Análisis de una formación para docentes de primaria en el contexto colombiano
y francés*

Por Luz Helena MARTINEZBARRERA

Tesis de Doctorado

Especialidad: Didáctica de las disciplinas. Opción: Didáctica de las ciencias físicas

Dirigida por Cécile de HOSSON y Nicolas DECAMP

Sustentada el 27 de Noviembre de 2014 frente a la comisión de evaluación integrada por:

Christian ORANGE, Univ. Libre de Bruxelles	Rapporteur
Cesar MORA, CICATA, IPN, México	Rapporteur
Françoise KHANTINE-LANGLOIS, Univ. Lyon I – S2HEP	Examinatrice
Alice DELSERIEYS, Univ. Aix-Marseille – ADEF	Examinatrice
Cécile de HOSSON, Univ. Paris Diderot –LDAR	Directrice de Thèse
Nicolas DÉCAMP, Univ. Paris Diderot –LDAR	Directeur de Thèse

Ecole Doctorale Savoirs Scientifiques

Laboratoire de Didactique André Revuz (LDAR)

**Construire un problème : un premier pas vers
l'investigation en sciences.**

*Analyse d'une formation d'enseignants de primaire en contexte français et
colombien*

Par Luz Helena MARTINEZ BARRERA

THESE

Spécialité: Didactique de disciplines. Option: Didactique des sciences physiques

Dirigée par Cécile de HOSSON et Nicolas DÉCAMP

Soutenue le 27 novembre de 2014 devant la commission d'examen constituée de:

Christian ORANGE, Univ. Libre de Bruxelles	Rapporteur
Cesar MORA, CICATA, IPN, México	Rapporteur
Françoise KHANTINE-LANGLOIS, Univ. Lyon I – S2HEP	Examinatrice
Alice DELSERIEYS, Univ. Aix-Marseille – ADEF	Examinatrice
Cécile de HOSSON, Univ. Paris Diderot –LDAR	Directrice de Thèse
Nicolas DÉCAMP, Univ. Paris Diderot –LDAR	Directeur de Thèse

Al abuelito José y a la abuelita Adelina.

A mi querida familia.

Agradecimientos

Agradezco a Christian Orange por haber aceptado la lectura y evaluación de esta investigación. Su lectura crítica y visión experta me han permitido profundizar en la comprensión y orientaciones de este trabajo y enriquecieron profundamente los resultados y conclusiones.

Quiero extender igualmente mis agradecimientos a Cesar Mora, quien aceptó evaluar este acercamiento a los sistemas educativos francés y colombiano, permitiendo así beneficiarme de su experiencia en la cultura de investigación latinoamericana y de visión externa a estos dos sistemas.

A Françoise Khantine-Langlois por su disposición y entusiasmo para retomar las discusiones alrededor del rebote de las esferas y por haber aceptado hacer parte de este jurado de evaluación.

A Alice Delseryeis, por su interés en la lectura de este trabajo, por los aportes y observaciones críticas que realiza a partir de su experiencia. Por su visión crítica e interés sobre el desarrollo de este trabajo.

Que Nicolas Décamp reciba mi reconocimiento, admiración y agradecimiento por su capacidad de escucha, por su paciencia, por asumir su rol de director con tanto respeto y nobleza y por supuesto por permitir beneficiarme de sus amplios conocimientos y agudas reflexiones durante el desarrollo de este trabajo.

Los sueños se ven de otra manera cuando existe tanto respaldo, confianza, motivación, apoyo, respeto, admiración... ¡Que gran honor que Cécile de Hosson haya decidido un día depositar su confianza en mí! . Que la acompañe siempre mi mayor reconocimiento y agradecimiento, no solo por la calidad de su trabajo en el campo profesional, por el gran instinto y amplia visión de investigadora, sino también por su gran calidad humana, optimismo y liderazgo. Haciendo honor a su calidad de maestra, ella me ha ofrecido mucho para aprender. Que mejor forma de agradecer que aprovechar todo lo aprendido para seguir alimentado esos sueños. Muchas gracias Cécile por estos años de apoyo y compromiso.

Mi profundo agradecimiento al conjunto de docentes e investigadores del Laboratorio LDAR, en particular por aquellos que acompañaron mi proceso de integración al laboratorio, particularmente Isabelle Kermen, Wanda Kaminski, Jacques Douaire, Rita Khanfur-Armalé, Laurence Viennot. Un agradecimiento especial a los que aceptaron compartir conmigo esta formación doctoral : Zoé, Raquel, Michäel y Carolina, inolvidables personas por su acogida y consejos. Agradezco de la misma forma los consejos y compañía de Julia, Lin, Charlotte, Destin, Adry, Etienne, Kata... en fin, a todo el grupo de doctorandos mil gracias por los momentos compartidos.

Agradezco sinceramente a todo el equipo de Ciencias Experimentales del Laboratorio LDAR, núcleo dentro del cual se construyeron y fortalecieron mis iniciativas de investigación, gracias por estar dispuestos a escuchar y acompañar el desarrollo de mis reflexiones y por permitir enriquecerme de su experiencia profesional. Este trabajo se ha beneficiado ampliamente de

los consejos y el acompañamiento de Robin Bosdeveix, de su experiencia, motivación y cualidades de trabajo colectivo, tampoco podría olvidar la compañía serena y fecunda de Valentin Maron, muchas gracias a los dos por ser compañeros de camino.

Estos tres años de trabajo no hubieran sido posibles sin el apoyo de mi querida familia, mis papás Ramón Antonio y María Elena, que me dieron la libertad de elegir, de decidir por mi futuro, decisión por la cual han tenido que hacer grandes sacrificios, cambiar, adaptarse, esperar... y mis hermanos, Diana, Nury, Olga, Wilson, todos dignos de admiración en cada una de sus actividades. Gracias a ellos por acompañarme a pesar de la distancia. Gracias también a mis queridos sobrinos tan generosos en el afecto que me conceden. Gracias a mi gran familia por su apoyo permanente, que me permite avanzar, querer ser mejor cada día. A mis padrinos, mis tíos, mi cuñado David, mis primos... tengo una familia tan grande y tan generosa que faltan líneas para nombrar y agradecer a cada uno, pero no falta espacio en el corazón y allí los llevo siempre.

Pero ante nada, todo mi agradecimiento, toda mi admiración a los pilares de esta gran familia, ejemplo de superación, de constancia, de disciplina, de fuerza: al abuelito José, la abuelita Adelina y a la abuelita Paula que ya no está. Llevo grabadas todas sus enseñanzas y espero ser digna de ellas en cada uno mis actos.

A los que se portan como mi familia y que quiero como tal, Jeimy, Andrea y a mi gran amigo, profe, socio, guía, codeudor, coautor, consejero, prestamista, lector... en fin, gracias profe Mario, soy afortunada de contar con su apoyo, compañía y optimismo. A aquellos que cuando vuelvo a casa me aceptan y acogen como si el tiempo no hubiera pasado; Sergio, Mónica, Ángela y Angélica a mis queridas brujas, en especial a Mónica Torres por estar siempre ahí, pendiente a pesar de la distancia. Y si de distancias se trata, un gran agradecimiento a Mauro, tan amigo, tan confidente, tan especial, siempre y sin importar el punto geográfico donde se encuentre gracias por haberme acompañado desde lejos.

A los que tuve cerca, a mi pequeña familia francesa Scolaro, por esos maravillosos días compartidos, aunque nos parecen tan pocos me llenaron de energía para seguir. A los Alonso-Shanon por su apoyo y en especial a Magnolia por sus consejos. A Louisa, por su gran motivación, por su compañía y por su cariño; a Elise por su apoyo, a Ana por sus cuidados, a Andrea por sus porras, a Roberto por su gentileza, a Daniel por las charlas de camino a casa: Muchas Gracias, ustedes fueron fuente de compañía y calor humano en este largo pero al final corto camino.

Tabla de Contenido

Tabla de Esquemas.....	3
Índice de Tablas	4
INTRODUCCION.....	6
1. <i>Una mirada a la enseñanza de las ciencias en la escuela primaria: contexto colombiano.....</i>	6
2. <i>Una mirada a la enseñanza de las ciencias en la escuela primaria: contexto francés.....</i>	13
3. <i>La enseñanza de las ciencias basada en la indagación (ECBI) como una iniciativa a escala internacional: interpretaciones y puesta en práctica</i>	19
4. <i>Determinación de un escenario de discusión a partir de los puntos comunes de tres perspectivas (currículo colombiano, programas franceses y prácticas de indagación)</i>	24
PARTE 1: Definición de una problemática alrededor de la construcción de problemas en la clase de física.....	27
1. <i>El rol de los problemas científicos en la clase de física</i>	27
Los problemas científicos en el contexto escolar	27
La situación de los docentes frente a la enseñanza de las ciencias y en particular a las prácticas de indagación	31
Algunas reflexiones sobre la ciencia y la construcción del conocimiento científico	37
Primera delimitación de la problemática de la investigación.....	43
2. <i>Selección de un fenómeno físico apto para la construcción de problemas: el rebote de las esferas.....</i>	46
El rebote: alternativa para la formulación de enunciados con diferentes grados de apertura en el contexto escolar (Langlois et al, 1995)	46
El rebote: evidencias históricas de enfoques diversos observables en la clase de física (basado en la investigación de Viard, 2003)	49
Segunda delimitación de la problemática de investigación	52
3. <i>El rebote: análisis de contenido</i>	53
PARTE 2: Metodología de nuestro trabajo de campo para la construcción de problemas sobre el rebote de las esferas y de una modalidad de análisis.....	61
1. <i>La actividad de problematización: un marco teórico para la instalación y el estudio de interacciones conducentes a la construcción de un problema.</i>	61
El Espacio Problema: una herramienta para estudiar la problematización a través de la esquematización de interacciones verbales	65
Precisión metodológica a través de una tercera pregunta de investigación.....	66
2. <i>Aplicación de categorías de la problematización a episodios históricos sobre el fenómeno del rebote en el siglo XVII.</i>	68
¿Por qué ciertos cuerpos encuentran su forma [original] luego de haber sido deformados? (Roux, 1996)	69
¿Por qué ciertos cuerpos rebotan? (Roux, 1996)	70
¿Cómo determinar las reglas de movimiento que rigen el rebote? (Viard, 2003)	74
3. <i>Proposición de una sesión de formación docente.....</i>	75
El medio didáctico	76
Los docentes en formación	77

El formador.....	77
4. <i>Metodología de recolección y análisis de datos</i>	78
Macro-estructura	78
Espacio de condicionantes	81
PARTE 3: Resultados de la experimentación y discusión.	85
1. <i>Los procesos de construcción de problemas llevados a cabo por los docentes vistos desde la perspectiva de la “problematización”</i>	85
Medio didáctico 1	86
Medio didáctico 2	100
Espacios de condicionantes inferidos y posible identificación de un Registro Explicativo.....	111
2. <i>Los procesos de construcción de problemas en el marco experimental desde la perspectiva de los docentes.</i>	122
Frente a la elección de preguntas	123
Frente a la práctica experimental escogida para responder a las preguntas formuladas.....	127
Frente a elementos constitutivos de una cultura epistemológica	131
3. <i>Síntesis de una caracterización de las prácticas de indagación realizadas por los docentes en nuestra formación</i>	137
CONCLUSIONES	140
1. <i>Desde un punto de vista general</i>	140
2. <i>Como respuesta a la problemática planteada</i>	143
[Q1] ¿Cuáles son los elementos que dinamizan la actividad de los docentes orientados hacia la construcción de problemas en un contexto de estudio del rebote de las esferas?	143
[Q2] ¿Cómo los docentes reducen la indeterminación de una situación abierta referente al rebote de las esferas, para hacer de esta una situación problematizadora?	145
[Q3]: ¿Cuáles son las adaptaciones necesarias del marco teórico de la problematización para el análisis de la construcción de problemas en el contexto de una formación docente sobre el fenómeno del rebote de las esferas?	147
PERSPECTIVAS	150
1. <i>Una extensión del estudio en el campo disciplinar</i>	150
2. <i>Una extensión del estudio en términos de una cultura epistemológica</i>	156
Bibliografía	158
Anexo 1. Conjunto de macro estructuras construidas	169
Anexo 2. Construire un problème : un premier pas vers l'investigation en sciences. Analyse d'une formation d'enseignants de primaire en contexte français et colombien (artículo aceptado en la revista internacional Recherches en Education)	178

Tabla de Esquemas

Esquema 1. La modelización como una construcción de explicaciones, Orange C 1994 presentado en Orange 2006 (p 77)	63
Esquema 2. Problematización posible desde la perspectiva de Descartes sobre la pregunta ¿Por qué ciertos cuerpos encuentran su forma [original] luego de haber sido deformados?	70
Esquema 3. Problematización posible desde la perspectiva de Leibniz sobre la pregunta: ¿Por qué ciertos cuerpos rebotan?	71
Esquema 4: Problematización desde la perspectiva de Beekman & Toricelli sobre la pregunta: ¿Por qué ciertos cuerpos rebotan?	72
Esquema 5. Problematización sobre la pregunta desde la perspectiva de Huygens: ¿Cómo determinar las reglas de movimiento que rigen el rebote?	74
Esquema 6. Macro estructura que ilustra la práctica emprendida por un grupo de docentes (grupo PG3).....	79
Esquema 7. Espacio de condicionantes inferido para el grupo de docentes PG3	82
Esquema 8 (idioma español) Dinámicas de construcción de necesidades obtenidas a partir del análisis macro y micro de la práctica de indagación de los docentes.	89
Esquema 9 (idioma francés) Dinámicas de construcción de necesidades obtenidas a partir del análisis macro y micro de la práctica de indagación de los docentes.	90
Esquema 10 Fragmento del espacio de condicionantes del grupo PG2 (medio 1).....	92
Esquema 11. Fragmento del espacio de condicionantes del grupo CG1 (medio 1).....	94
Esquema 12 Fragmento de espacio de condicionantes del grupo PG1 (medio 1).....	97
Esquema 13 Fragmento de espacio de condicionantes del grupo PG4 (medio 1).....	98
Esquema 14 Fragmento de Espacio de condicionantes del grupo CG3 (medio 1).....	100
Esquema 15 (idioma español) Dinámicas de construcción de necesidades obtenidas a partir del análisis macro y micro de la práctica de indagación de los docentes (medio 2)	104
Esquema 16 (idioma francés) Dinámicas de construcción de necesidades obtenidas a partir del análisis macro y micro de la práctica de indagación de los docentes (medio 2)	105
Esquema 17 Fragmento de espacio de condicionantes del grupo PG4 (medio 2).....	106
Esquema 18 Fragmento de espacio de condicionantes del grupo CG2 (medio 2).....	108

Índice de Tablas

Tabla 1. Referente de competencias fijadas para el eje: “me aproximo al conocimiento como un científico natural” para el primer ciclo en la educación básica colombiana.....	10
Tabla 2.. Referente de competencias fijadas para el eje: “me aproximo al conocimiento como un científico natural” para el segundo ciclo en la educación básica colombiana.....	11
Tabla 3. Síntesis de temas para la clase de ciencias contemplados en los programas de educación primaria francesa.....	18
Tabla 4 Tipología de los problemas identificados para el conjunto de grupos de docentes franceses y colombianos	85
Tabla 5 Listado de problemas abordados (macro-estructuras) y problemas construidos (espacios de condicionantes y necesidades) a lo largo del medio didáctico 1.	86
Tabla 6 Lista de condicionantes identificados en la creación de necesidades a lo largo del medio didáctico 1.	87
Tabla 7 Fragmento de discusión donde se evidencia la intervención de la noción de fuerza (en este caso de la reacción del suelo).....	92
Tabla 8 Ejemplo de fragmento de intercambios para el grupo PG2 evidenciado para la construcción de una relación necesaria entre fuerza y velocidad.	93
Tabla 9 Fragmento de intercambios del grupo PG1, que sugiere la asociación entre rebote y resorte desarrollado. Estos argumentos contribuyen a la necesidad de la intervención de la materia en el rebote.	96
Tabla 10 Fragmento de intercambios del grupo PG4 sobre la necesidad de un cuerpo parcialmente indeformable, que aproxima a los docentes a la idea de elasticidad.....	98
Tabla 11 Fragmento de intercambios del grupo CG3, que justifica la necesidad de una relación entre la masa y el peso.	99
Tabla 12 Descripción del medio 2 mediante los problemas percibidos (macro estructuras) y problemas construidos (espacios de condicionantes y necesidades)	101
Tabla 13 Intervención de condicionantes (más frecuentes) en el medio didáctico 2.....	102
Tabla 14. Fragmento de discusión del grupo PG4 que ilustra la abertura hacia otras posibles influencias diferentes a la “materia”.	103
Tabla 15. Fragmento de transcripción de intercambios del grupo CG2 donde se ilustra el interés sobre el estudio de la evolución de la altura de una misma esfera.....	108
Tabla 16. Fragmento de conclusiones del grupo CG2, donde se puede identificar una relación con el coeficiente de restitución	109
Tabla 17. Fragmento de conclusiones expresadas por el grupo PG3, donde se puede identificar una relación con el coeficiente de restitución	109
Tabla 18. Fragmento de transcripción de intercambios del grupo PG5 que ilustra la elección de variables y las dificultades encontradas al respecto.....	110
Tabla 19 Preguntas propuestas por los docentes como preguntas investigables a lo largo de sus prácticas experimentales.	123
Tabla 20 Fragmento de discusión del grupo CG1, que sugiere la evolución de la formulación de la pregunta de tipo “por qué” hacia las posibles influencias de magnitudes en el rebote	124
Tabla 21 Fragmento de discusión del grupo PG3, que sugiere la evolución de la formulación de la pregunta de tipo “por qué” hacia las posibles influencias de magnitudes sobre el rebote.	124

Tabla 22 Fragmento de discusión del grupo PG4, que sugiere la evolución de una pregunta de tipo “cómo” hacia el cuestionamiento sobre las influencias del rebote.	125
Tabla 23 Fragmento de discusión del grupo CG2 la evolución de una pregunta de tipo “como” a una pregunta cerrada concerniente a las posibles influencias de magnitudes (en este caso: altura)	125
Tabla 24 Fragmento de diálogo del grupo PG1 que evidencia la discusión sobre la elección de una cuya respuesta tiene un carácter obvio o evidente. (Intervención del formador: líneas identificadas con L0).....	126
Tabla 25 Fragmento de diálogo del grupo CG3 que evidencia la discusión sobre la elección de una pregunta cuya respuesta tiene un carácter obvio o evidente.....	126
Tabla 26 Fragmento de discusión del grupo PG1 respecto a la formulación de hipótesis en su práctica experimental	127
Tabla 27 Fragmento de discusión del grupo PG5, donde se evidencia el reconocimiento de los docentes de haber utilizado un numero inapropiado de variables.....	128
Tabla 28 Fragmento de discusión del grupo PG5, donde se juzga que no se han obtenido resultados porque la variable para calificar el rebote: “el número de rebotes” no cambia.	129
Tabla 29 Fragmento de discusión del grupo PG3, donde se sugiere como resultado que el peso (entendido por los docentes como la masa) no influye el número de rebotes. Esta conclusión es difícilmente aceptada por los docentes.	129
Tabla 30 Fragmento de discusión del grupo CG1 donde se evidencia una postura de tipo “cambiar cosas para ver qué pasa” en un momento dado de la práctica de los docentes.....	130
Tabla 31 Fragmento de discusión del grupo PG5, que sugiere la necesidad de encontrar una regularidad en los resultados para concluir sobre la práctica experimental.....	132
Tabla 32 fragmento de discusión del grupo PG1, propuesto como ejemplo de la voluntad de verificar una predicción mediante la experimentación con poca tolerancia a observaciones o resultados contradictorios.....	133
Tabla 33 Fragmento de discusión del grupo PG3, donde puede observarse la abertura de los docentes hacia otras explicaciones mediante una nueva observación experimental.....	133
Tabla 34 Fragmento de discusión del grupo CG3, que da cuenta de la intención de estudiar el fenómeno sin tener una explicación o idea previa.....	134
Tabla 35 Fragmento de discusión del grupo PG4, donde se da una gran importancia a las experiencias cotidianas.	134
Tabla 36 Caracterización de la práctica de los docentes y el tipo de perfil al que podrían pertenecer.	136
Tabla 37 Condicionantes observados en momentos de contradicción que admiten la construcción de problemas.	144

INTRODUCCION

Los intereses educativos en el marco internacional han apuntado hacia una alfabetización científica para todos. En particular, se observa una aproximación a la actividad científica, donde la experimentación juega un rol esencial. La evolución de las acciones en el contexto escolar propone el cumplimiento de estos objetivos mediante iniciativas como por ejemplo, la enseñanza de las ciencias basada en la indagación (ECBI), esta modalidad de enseñanza se presenta como una iniciativa común para los programas académicos de diferentes países del mundo y en particular en Colombia y Francia, países que constituyen nuestro objeto de estudio. Puede observarse de forma transversal al conjunto de disposiciones, el interés de desarrollar en los estudiantes una apropiación de prácticas, un ejercicio más autónomo y “constructivo” en las clases científicas así como la estimulación de su espíritu crítico. El aprendizaje científico, en nuestro tiempo se plantea, dentro de sus desafíos, otorgar operatividad al saber escolar, en el sentido en que debe servirle al estudiante para su desempeño en situaciones cotidianas y una cultura apropiada para el desenvolvimiento del futuro ciudadano.

Esta parte introductoria se plantea como una descripción de elementos constitutivos del escenario en el cual se promueven nuestros cuestionamientos. Por esta razón, serán las disposiciones curriculares, en Colombia y en Francia, la vía por la cual abordaremos la descripción del contexto. Nos interesaremos particularmente en las indicaciones curriculares estipuladas para la educación básica primaria, proveniente de fuentes de naturaleza diversa. Estas indicaciones abren la perspectiva de reflexión sobre sus implicaciones didácticas reflejadas en diferentes aspectos como: el disciplinar, el pedagógico, el epistemológico, etc. Nos detendremos en la elaboración de una aproximación de la ECBI desde el punto de vista de posibles interpretaciones y puestas en práctica, con especial atención en el contexto colombiano y francés.

1. Una mirada a la enseñanza de las ciencias en la escuela primaria: contexto colombiano

El sistema educativo colombiano presenta una estructura descentralizada, es decir, que el currículo¹ se adapta a las necesidades e intereses de las instituciones educativas. No obstante, ciertos principios generales rigen las acciones educativas de estas instituciones en el territorio nacional (públicas y privadas). Estos principios pueden leerse en los diferentes documentos oficiales y disposiciones de ley que lo regulan.

¹ En la Ley General de Educación de Colombia, currículo se define como: el conjunto de criterios, planes de estudios, programas, metodología, y procesos que contribuyen a la formación integral y a la construcción de la identidad cultural nacional, regional y local, incluyendo también los recursos humanos, académicos y físicos para poner en práctica las políticas y llevar a cabo el proyecto educativo institucional

Puede entenderse como un objetivo general, en las disposiciones curriculares, el estímulo de la lógica y el espíritu crítico de los estudiantes frente al acceso al conocimiento, se sugiere una participación en los procesos de búsqueda de alternativas y adquisición de metodologías favorables a la solución de problemas nacionales (República de Colombia, 1978). Sobre esta base fundamental se han ido articulando reformas que de una parte, proyectan la educación hacia la formación superior y la inclusión al campo laboral; y de otra parte, enfocan el campo de acción de la solución de problemas al marco de la vida cotidiana, entre otros (República de Colombia, 1994).

Por su parte, el Ministerio de Educación Nacional Colombiano (MEN Colombia) junto con otras autoridades locales y regionales, proponen acciones concretas y renovables a mediano plazo. Las propuestas correspondientes a la década 2006-2016, destinan un capítulo a la “Ciencia y Tecnología integradas a la Educación”, allí se dispone:

Fomentar, desarrollar y fortalecer una cultura de investigación y de apropiación social de la ciencia y la tecnología pertinente a los entornos económicos, culturales y medio ambientales en todos los actores y niveles de la educación de manera articulada al desarrollo humano, científico y productivo y a la deconstrucción en las instituciones educativas, con la participación de la sociedad civil, la comunidad científica, los empresarios, el Estado y los demás sectores sociales, políticos, económicos y culturales (MEN Colombia, 2006, p. 17)

Nuevos elementos pueden percibirse en estos objetivos, como la apropiación social de la ciencia y la articulación de la ciencia con la dimensión humana, social, cultural, medio ambiental, etc. Lo que en documentos anteriores podía entenderse como el desarrollo del espíritu científico (República de Colombia, 1978) ahora puede entenderse como el desarrollo de una cultura de la investigación que no desconoce otras facetas tales como “la apropiación social de la ciencia”, los entornos económicos y ambientales.

El MEN Colombia indica y desarrolla disposiciones acordes a los objetivos generales de educación, los especifica por áreas fundamentales del Currículo (español, matemáticas, ciencias naturales, ciencias sociales, segunda lengua) y lo comunica en documentos oficiales diferenciados por área llamados “Lineamientos Curriculares”. Este documento sugiere la falta de científicidad de conocimientos empíricos que permitirían a los ciudadanos desenvolverse en su cotidiano. Podemos identificar una postura epistemológica a partir de los planteamientos que allí se presentan. En efecto, los conocimientos empíricos son relacionados con lo que Husserl llama “el mundo de la vida”. En el documento se sugiere una distancia entre los conocimientos del “mundo de la vida” y los conocimientos científicos, que radica entre otras cosas, en la agregación de un componente racional, en la crítica, en la evaluación y validación por parte de una comunidad.

Uno de los objetivos principales de la enseñanza de las ciencias: desarrollar el pensamiento científico, se efectuaría a través de ciertas competencias en diferentes niveles de complejidad. Esta tipología contiene competencias de descripción (de situaciones o de fenómenos), interpretación de leyes y teorías, generalización

de explicaciones y la identificación de estas en otros contextos para aplicar allí los conocimientos adquiridos². La solución de problemas sería un ejemplo de aplicación de estos conocimientos.

Las propuestas del ministerio se inscriben en la voluntad de una formación integral que le permita al estudiante (futuro ciudadano) resolver problemas de su cotidiano y también contribuir a la solución de problemas en un contexto nacional. El interés de formar ciudadanos (de los que pocos se convertirían en científicos), radica en utilizar su formación científica al servicio de la solución de los problemas asociados al contexto social y al mundo natural³. Más aún, la formación científica es considerada como indispensable para enfrentar al individuo de una manera exitosa al problema, que parece ser el equivalente de encontrar nuevas soluciones

En efecto, un individuo sin una buena formación en ciencia no podrá enfrentar problemas desconocidos en forma exitosa, pues no es posible el hallazgo de nuevas soluciones sin enfrentar los problemas sociales y del mundo físico en forma científica. (MEN Colombia, 1998)

En cuanto a los conocimientos adquiridos, observamos una caracterización múltiple que contiene una dimensión disciplinar, ética, social. Se trata de un conocimiento construido, producto de una reflexión propia y consciente del estudiante. El Ministerio señala:

En resumen, se trata de propiciar la construcción de una conciencia ética, para lo cual se debe suscitar en el alumno una reflexión intencionada sobre cómo su aprendizaje se está llevando a cabo, los caminos y procedimientos que ha recorrido, sus aciertos y desaciertos, como también sobre la calidad y validez de los conceptos elaborados, las normas, valores, métodos, técnicas y actuaciones, sus consecuencias y los impactos generales por las relaciones hombre sociedad – naturaleza - ciencia-tecnología (MEN Colombia, 1998)

Este proceso de construcción encuentra sus orígenes en la formulación de las preguntas en clase. Se pone de manifiesto la preocupación sobre la existencia preguntas formuladas en la clase de ciencias que no lleven a ninguna construcción:

Uno de los factores inmensamente limitantes de nuestro sistema educativo es precisamente el tiempo tan escaso que le dedicamos a las preguntas en el desarrollo de los temas de clase. Las pocas preguntas que el profesor formula dentro del salón de clases, las formula con la expectativa de recibir una respuesta rápida y correcta; se evita “gastar” demasiado tiempo en la respuesta a esas preguntas. Las todavía más escasas preguntas de los alumnos van dirigidas a aclarar algunos detalles o a pedir una mejor explicación de algo. Ninguna de estas preguntas son del tipo que construyen conocimiento (MEN Colombia, 1998) (p. 46)

Las disposiciones institucionales apuntan así a una aproximación al conocimiento científico a través de una actitud inherente a los seres humanos, aquella de cuestionarse sobre los fenómenos que lo rodean y de construir para sí un tipo de conocimiento que corresponda a sus necesidades y responda a las preguntas que se plantean los individuos. El proceso sugerido para llevar a los estudiantes a la construcción del conocimiento es la

² Periodos del desarrollo del pensamiento científico: “pre-teórico”, “teórico restringido”, “teórico holístico”, MEN, Colombia, “lineamientos curriculares en Ciencias Naturales y Educación Ambiental” p.32

³ El término de ciencias “naturales” proviene del interés de acercar al estudiante a los fenómenos observados en el mundo de la vida, éste es entendido como el entorno natural, compuesto por el entorno vivo (procesos biológicos) y el entorno físico (procesos físicos y químicos) (ver MEN, 2004, p 101).

indagación. El conocimiento intuitivo podría evolucionar, permitiendo así la construcción de conocimientos disciplinares y también un acercamiento al proceder de los científicos.

Se trata, entonces, de brindar bases que les permitan a los y a las estudiantes acercarse paulatinamente y de manera rigurosa al conocimiento y la actividad científica a partir de la indagación, alcanzando comprensiones cada vez más complejas, todo ello a través de lo que se denomina un hacer. (MEN Colombia, 2004) (p.109)

Por otra parte, en los documentos oficiales puede observarse la importancia asignada a la participación del estudiante, ya que de él proviene el cuestionamiento científico, el reconocimiento de las limitaciones y una actitud crítica frente al conocimiento. En efecto, el Ministerio señala la importancia del sentido que el estudiante otorga a los conocimientos adquiridos:

Afirmamos que el aprendizaje necesita de la participación activa de las y los estudiantes en la construcción de sus conocimientos, no siendo suficiente la simple reconstrucción personal de conocimientos previamente elaborados por otros y proporcionados por el maestro o el libro de texto. (MEN Colombia, 2004) (p. 111)

En estas disposiciones se expresa que los estándares nacionales han sido concebidos para una formación de ciencia integral (física, química, biología etc.), abordables desde la educación primaria (MEN Colombia, 2004) (p 118). De hecho, las diferencias entre los niveles de básica primaria y básica secundaria no aparecen explícitas y es la distribución de temas una tarea de las instituciones. Allí se expresa sin embargo, una distinción posible con respecto a los grados de complejidad con que se aborden temas y competencias.

Para llegar a una progresión acorde, el ministerio organiza estas y otras indicaciones en tres ejes fundamentales que componen una propuesta de enfoque de enseñanza de las ciencias:

- 1 Aproximarse al conocimiento como científico natural
- 2 Manejar conocimientos propios de las ciencias naturales
- 3 Desarrollar compromisos personales y sociales.

Con respecto al primer eje, observamos que las competencias mantienen una estructura base que aumenta en complejidad a lo largo de los ciclos de escolaridad. Estas competencias de base pueden describirse así:

Al finalizar los tres primeros grados de la formación primaria (K=1, 2 y 3), se propone que el estudiante “recono[zca] en el entorno fenómenos físicos que [le] afectan y desarroll[e] habilidades para aproximar[se] a ellos”.

En cuanto al primer eje: “aproximarse al conocimiento como un científico natural”, las competencias relacionadas se presentan en la Tabla 1. Observamos en este primer ciclo que “acercarse al conocimiento como un científico natural” conlleva como actividad de base la observación y la formulación de preguntas. A partir de esto el estudiante lleva a cabo un proceso hipotético deductivo que debe permitirle responder a las preguntas que se planteó inicialmente y a comparar sus respuestas con las de los demás.

- ❖ Observo mi entorno.
- ❖ Formulo preguntas sobre objetos, organismos y fenómenos de mi entorno y exploro posibles respuestas.
- ❖ Hago conjeturas para responder mis preguntas.
- ❖ Diseño y realizo experiencias para poner a prueba mis conjeturas.
- ❖ Identifico condiciones que influyen en los resultados de una experiencia.
- ❖ Realizo mediciones con instrumentos convencionales (regla, metro, termómetro, reloj, balanza...) y no convencionales (vasos, tazas, cuartas, pies, pasos...).
- ❖ Registro mis observaciones en forma organizada y rigurosa (sin alteraciones), utilizando dibujos, palabras y números.
- ❖ Busco información en diversas fuentes (libros, Internet, experiencias propias y de otros...) y doy el crédito correspondiente.
- ❖ Selecciono la información apropiada para dar respuesta a mis preguntas.
- ❖ Analizo, con la ayuda del profesor, si la información obtenida es suficiente para contestar mis preguntas.
- ❖ Persisto en la búsqueda de respuestas a mis preguntas.
- ❖ Propongo respuestas a mis preguntas y las comparo con las de otras personas
- ❖ Comunico de diferentes maneras el proceso de indagación y los resultados obtenidos

Tabla 1. Referente de competencias fijadas para el eje: “me aproximo al conocimiento como un científico natural” para el primer ciclo en la educación básica colombiana

En cuanto al segundo eje: “manejar conocimientos propios de las ciencias naturales”, conviene destacar los estándares relacionados con el “entorno físico”, es decir, los estándares cercanos al estudio de procesos físicos y químicos del “mundo natural”³. Es así como el estudiante está llamado a: describir objetos, proponer formas de medir magnitudes relacionadas con sólidos y líquidos, establecer la relación entre la magnitud y su unidad de medida, identificar fuerzas y tipos de movimiento, la construcción de circuitos y la identificación del movimiento de los cuerpos celestes en el cielo, entre otros. Los temas que aquí se relacionan deberán ser tratados en los diferentes grados de escolaridad, por lo que serán retomados en cada ciclo y complementados con otras competencias y conocimientos.

El último y tercer eje (compromisos personales y sociales) también se plantea mediante niveles de complejidad y las competencias asignadas se relacionan con el trabajo colectivo, el respeto al entorno y a sí mismo, a la comunidad y a las ideas de otros, al escepticismo y a la crítica. Este último eje incluye en niveles de educación básica secundaria reflexiones sobre la naturaleza de la ciencia, acordes con posturas contempladas en los lineamientos curriculares que han sido discutidas anteriormente.

Para los dos años siguientes ($K = 4$ y 5) se dispone que el estudiante: “Identifi[que] transformaciones en [su] entorno a partir de la aplicación de algunos principios físicos, químicos y biológicos que permiten el desarrollo de tecnologías”. Las competencias fijadas para este ciclo se relacionan en la Tabla 2.

<ul style="list-style-type: none"> ❖ Observo el mundo en el que vivo. ❖ Formulo preguntas a partir de una observación o experiencia y escojo algunas de ellas para buscar posibles respuestas. ❖ Propongo explicaciones provisionales para responder mis preguntas. ❖ Identifico condiciones que influyen en los resultados de una experiencia y que pueden permanecer constantes o cambiar (variables). ❖ Diseño y realizo experimentos modificando una sola variable para dar respuesta a preguntas. ❖ Realizo mediciones con instrumentos convencionales (balanza, báscula, cronómetro, termómetro...) y no convencionales (paso, cuarta, pie, braza, vaso...). ❖ Registro mis observaciones, datos y resultados de manera organizada y rigurosa (sin alteraciones), en forma escrita y utilizando esquemas, gráficos y tablas. ❖ Busco información en diversas fuentes (libros, Internet, experiencias y experimentos propios y de otros...) y doy el crédito correspondiente. ❖ Establezco relaciones entre la información y los datos recopilados. ❖ Selecciono la información que me permite responder a mis preguntas y determino si es suficiente. ❖ Saco conclusiones de mis experimentos, aunque no obtenga los resultados esperados. ❖ Propongo respuestas a mis preguntas y las comparo con las de otras personas. ❖ Persisto en la búsqueda de respuestas a mis preguntas. ❖ Comunico, oralmente y por escrito, el proceso de indagación y los resultados que obtengo

Tabla 2. Referente de competencias fijadas para el eje: “me aproximo al conocimiento como un científico natural” para el segundo ciclo en la educación básica colombiana

Las competencias de este ciclo se muestran como una secuencia cuya estructura básica permanece (observar, formular preguntas, proponer explicaciones, diseñar experiencias, buscar información, analizar información, comunicar resultados, etc.). A través de los ciclos esta secuencia se hace más compleja, pero la formulación y solución de problemas (preguntas) sigue ocupando un rol importante. El estudiante debe llegar a tomar conciencia del proceso de indagación que se lleva a cabo y ser capaz de comunicarlo.

A esta primera parte, la complementa el segundo eje (conocimientos propios de las ciencias naturales). Señalamos aquí algunos de los conocimientos relacionados con el “mundo físico”:

- ❖ establecer relaciones entre objetos que tienen masas iguales y volúmenes diferentes o viceversa y su posibilidad de flotar

- ❖ verificar el efecto de la transferencia de energía térmica en los cambios de estado de algunas sustancias
- ❖ relacionar el estado de reposo o movimiento de un objeto con las fuerzas aplicadas sobre éste
- ❖ identificar las funciones de los componentes de un circuito eléctrico
- ❖ describir los principales elementos del sistema solar y establecer relaciones de tamaño, movimiento y posición de los planetas.

Cabe señalar el interés observado por relacionar ciertas magnitudes con fenómenos específicos, como por ejemplo la masa y volumen a la flotabilidad, o las fuerzas aplicadas al movimiento de un cuerpo. Por otra parte, no es explícita la manera como las competencias presentes en el primer eje (aproximación al conocimiento como un científico natural) se relacionan con las competencias pertenecientes al segundo (manejar conocimientos propios de las ciencias naturales). Tampoco parece clara la forma como se lleva a cabo la progresión entre temas. La presentación del documento lleva a pensar que la totalidad de los conocimientos indicados para ese ciclo, pueden construirse mediante la “aproximación al conocimiento como un científico natural” y sus competencias asociadas.

En lo que respecta a la educación primaria, observamos que es posible identificar temas relacionados con la física, aun cuando no se observa una delimitación de núcleos temáticos; son ejemplo de ello: la medición, los estados de la materia, la energía térmica y eléctrica, el circuito eléctrico, el sistema solar, fenómenos climáticos, entre los más notables. A pesar de que la aplicación y la adaptación de los contenidos quedan a cargo de cada institución educativa, observamos que los estándares mínimos de competencias en los programas de primaria requieren de conocimientos físicos de base que se retomarán y profundizarán en ciclos posteriores.

La lectura que hemos hecho hasta aquí del currículo colombiano, nos permite señalar ciertos aspectos importantes. Entre ellos podemos destacar una metodología de cuestionamiento basada en la indagación donde el estudiante participa de una manera activa asignándole un sentido al conocimiento adquirido.

Por otra parte, encontramos la voluntad de promover el espíritu crítico y la creatividad que acompañarían al estudiante en la propuesta y resolución de problemas. La formulación de problemas constituye un eje fundamental donde se articulan actividades directamente asociadas a la indagación. La resolución de problemas se proyecta en contextos locales y nacionales, proporcionando a cada ciudadano (científico o no) los medios para tomar decisiones que le afectan como individuo y a su comunidad. Este tipo de reflexiones irán así de la mano con una formación científica básica.

La lectura de los estándares nacionales presenta al conocimiento científico como el producto de un proceso constituido por diferentes etapas, próximas de la actividad de los científicos. La formulación del problema representa uno de los momentos importantes de este proceso, que permitiría igualmente la evolución del conocimiento pre teórico, pasando por el conocimiento restringido hacia el conocimiento holístico. El perfil del

problema adecuado a estos procesos tendría que ver con la intervención necesaria de la experiencia para la evolución de los argumentos y el carácter “inesperado” o “incongruente” del mismo.

Es recomendable empezar con problemas empíricos o con problemas teórico- experimentales que permitan diseñar y realizar experimentos que posibiliten dirimir argumentos encontrados (tesis y antítesis). Pero sin duda lo más importante es conocer las teorías y modelos de los estudiantes para poder plantear situaciones, hacer preguntas, mostrar fenómenos o realizar cualquier otra actividad que ponga en crisis, que desequilibre (por insuficiencia o congruencia) (MEN Colombia, 1998)

En capítulos posteriores desarrollaremos con más detalle el significado de propuestas como la indagación, la formulación y resolución de problemas. Discutiremos algunas implicaciones a nivel internacional ya que nuestra exploración no se limita al caso colombiano. Por esta razón, el tema que nos ocupará en el siguiente numeral, corresponde al estudio de los programas de la educación francesa. De esta manera complementaremos las aproximaciones curriculares sobre las que se basa nuestro estudio.

2. Una mirada a la enseñanza de las ciencias en la escuela primaria: contexto francés

El sistema educativo francés está diseñado de una forma más centralizada con respecto al sistema educativo colombiano. Por esta razón es posible encontrar consignas e indicaciones más detalladas en función de los grados y temas de enseñanza. En los documentos oficiales se presentan las disposiciones de acuerdo a los principios generales de la educación francesa, se proyectan en estándares básicos de conocimientos y competencias y se detallan mediante la articulación de programas diseñados para primaria y secundaria. A continuación presentamos una descripción de estas disposiciones empezando por ciertos principios directores y recurriendo posteriormente a la caracterización de los programas en cuanto la formación en ciencias.

En primer lugar, se estipula como un primer principio la vivencia de los valores de la república francesa en la escuela, por ello se propone el acceso igualitario a la educación, el respeto a la dignidad humana y a las diferencias de pensamiento, creencias, etc. (Art L111-1) (República Francesa, Código de la Educación actualización de enero de 2014)

En el código de educación francesa, el estudiante se perfila como un ciudadano apto para desenvolverse en la vida profesional y capaz de actuar según las necesidades de su época. Para ello, se requiere entre otras cosas la iniciativa del estudiante y un desempeño favorable frente a los retos actuales de información y comunicación (art L111-2). El desarrollo de conocimientos, competencias y elementos culturales (art L121-6), deportivos (art L121-5), así como los conocimientos tecnológicos (art L121-7) favorecerían la obtención de este objetivo.

En particular, en la escuela primaria estos esfuerzos se dirigen hacia la comunicación oral y escrita, la lectura y las matemáticas. También se busca desarrollar en el estudiante la conciencia del paso del tiempo, de los objetos y el entorno que lo rodea. Por otra parte se pretende desarrollar una continuidad con la formación de los grados superiores.

La scolarité obligatoire doit garantir à chaque élève les moyens nécessaires à l'acquisition d'un socle commun de connaissances, de compétences et de culture, auquel contribue l'ensemble des enseignements dispensés au cours de la scolarité. Le socle doit permettre la poursuite d'études, la construction d'un avenir personnel et professionnel et préparer à l'exercice de la citoyenneté » (Republica Francesa, code de l'éducation nationale, art L122-1-1)

Por lo tanto, se define una base común de “competencias y conocimientos”, como el conjunto de saberes, valores, lenguajes y prácticas cuya adquisición se promueve en la escuela (MEN Francia, 2006). Su estructura de base se compone de 7 ítems: el dominio del idioma francés, el uso de un idioma extranjero, principales elementos de matemáticas y cultura científica y tecnológica, la cultura humanista, las competencias sociales y cívicas y la autonomía e iniciativa.

A diferencia de la enseñanza de las ciencias en el currículo colombiano, donde las competencias y conocimientos de ciencias naturales y de matemáticas son concebidos en áreas separadas, vemos que el currículo francés reúne los conocimientos de ciencias experimentales junto con aquellos en tecnología y matemáticas, estableciendo así unos criterios comunes en competencias y conocimientos. Las indicaciones asociadas se reúnen así en un mismo documento. Esta unificación encuentra su justificación en argumentos como: « Les mathématiques, les sciences expérimentales et la technologie favorisent la rigueur intellectuelle constitutive du raisonnement scientifique » (MEN Francia, 2006, p. 10)

El grupo GRIESP⁴ (Groupe de Recherche et d'Innovation pour l'Enseignement des Sciences Physiques) de la inspección general, señala en efecto, que la práctica experimental ocupa un lugar importante en la formación científica. En su análisis histórico indica que la reforma educativa de 1902 permitió la introducción de “ejercicios prácticos” y que reflexiones críticas de la época concordaron con una voluntad de enseñar “cómo se hace la ciencia” en lugar de limitarse a enseñar sus resultados. Asimismo, muestra cómo reformas posteriores la han posicionado como un elemento evaluable. Al método experimental se relacionaron las nociones de: observación, sentido crítico, inducción científica y construcción de hipótesis (Inspection Générale de l'Education Nationale, 2011).

Las reformas en los inicios del siglo XXI, agregan a estas disposiciones la voluntad de involucrar al estudiante en este proceso de formación para así lograr un acercamiento a la ciencia a través de “programas de renovación de la enseñanza” (MEN Francia, 2000). Reformas graduales desde la primaria (MEN, Francia 2002), la secundaria (MEN Francia, 2008b) hasta los últimos años de escolaridad obligatoria (Liceo) (MEN Francia, 2010) han instaurado en la educación francesa lo que aquí traducimos como “procedimientos de investigación” (Démarche d'Investigation), estrechamente relacionado con la enseñanza de las ciencias basada en la indagación (ECBI) (ver por ejemplo Rocard et al., 2007).

La cultura científica estaría guiada por esta forma de proceder, que se caracteriza por la observación, el cuestionamiento, la experimentación y la argumentación y sirve de escenario para la puesta en práctica de la

⁴ Grupo de Investigación e Innovación para la enseñanza de las Ciencias Físicas a cargo de la inspección general, constituido por inspectores pedagógicos regionales, profesores de secundaria y de las Clases Preparatorias a las “Grandes Ecoles” (CPGE).

resolución de problemas. En el siguiente párrafo se pone de manifiesto las intenciones del Ministerio de Educación.

Dès l'école maternelle, les enfants sont initiés à la démarche d'investigation qui développe la curiosité, la créativité, l'esprit critique et l'intérêt pour le progrès scientifique et technique (...) Dans la continuité de l'école primaire, les programmes du collège privilégient une démarche d'investigation pour les disciplines scientifiques et la technologie. Cette démarche s'appuie sur le questionnement des élèves sur le monde réel, en sciences et technologies, et sur la résolution de problèmes, en mathématiques (« les sciences dans l'enseignement obligatoire - Les sciences expérimentales et les technologies à l'école – au collège » MEN Francia⁵)

Del párrafo anterior y en general de las disposiciones oficiales puede observarse la tendencia a separar actividades en función de las disciplinas (matemáticas y ciencias experimentales). Por ejemplo, la enseñanza de las matemáticas está frecuentemente asociada con la resolución de problemas, las ciencias experimentales con el cuestionamiento sobre el mundo real. Para algunos autores esta separación no está totalmente demarcada (Hersant & Orange-Ravachol, 2012). El siguiente fragmento evidencia en efecto una relación más estrecha fundamentada en la adquisición de una cultura científica.

La maîtrise des principaux éléments de mathématiques s'acquiert et s'exerce essentiellement par la résolution de problèmes, notamment à partir de situations proches de la réalité. Les compétences acquises en mathématiques conditionnent l'acquisition d'une culture scientifique (MEN Francia, 2006) (p 10)

No obstante, se observa una voluntad común para la enseñanza de estas disciplinas a través de “procedimientos de investigación”. Este objetivo común, se instaura desde la escuela primaria como preparación hacia un procedimiento más estructurado que más adelante se adaptará a cada disciplina de acuerdo a las indicaciones curriculares por grado.

En el caso de la educación básica primaria y secundaria, recientes reformas al programa (MEN Francia, 2002 y MEN Francia, 2008a) hacen parte de la iniciativa del desarrollo de actividades científicas incluyendo la experimentación. En cuanto a las iniciativas existentes en la escuela primaria, un programa de apoyo de escala nacional se ha puesto en práctica, titulado “la main à la pâte”. Este promueve prácticas basadas en la indagación y es explícitamente sugerido como modelo por el Ministerio de Educación Nacional Francés

L'observation, le questionnement, la manipulation et l'expérimentation sont essentiels, et cela dès l'école primaire, dans l'esprit de l'opération « La main à la pâte » qui donne le goût des sciences et des techniques dès le plus jeune âge (MEN Francia, 2008a) (« cycle d'approfondissements »)

Al igual que en los programas colombianos, los programas de educación francesa no especifican los conocimientos que pueden adquirirse mediante estas competencias. Las últimas reformas hacen énfasis en una libertad otorgada al maestro para decidir cómo desea llevar a cabo la aproximación a estos conocimientos. Los párrafos siguientes describen la progresión de base propuesta por estos programas.

⁵ Portal web: <http://www.education.gouv.fr/cid54197/l-enseignement-des-sciences.html>. Consultado el 22 de septiembre de 2014.

En los primeros años de formación, es decir, en el ciclo 2 (K= 1, 2) llamado ciclo de los aprendizajes fundamentales (grados CP y CE1), se propone desarrollar competencias de observación y descripción favorables a la investigación, la resolución de problemas simples y la familiarización con mediciones y unidades de medida (longitudes, masas, duración, etc.) (MEN Francia, 2008a). La asignatura de ciencias experimentales y tecnología no aparece en el este ciclo. Sin embargo, consideramos que existen conocimientos próximos en la asignatura llamada “Descubrimiento del mundo”, esto cuando se trata particularmente de que los estudiantes comprendan las interacciones entre los seres vivos y el medio ambiente.

El ciclo 3 (K = 3, 4, 5), llamado ciclo de profundización (grados CE2, CM1, CM2), contiene conocimientos asociados explícitamente a las ciencias experimentales y a la tecnología. Los núcleos temáticos a desarrollar son: la materia, unidad y diversidad del mundo vivo, educación ambiental, el cuerpo humano y educación en salud, la energía (opcional) el cielo y la tierra. El estudiante, al finalizar este ciclo, habría desarrollado competencias como:

Pratiquer une démarche d’investigation : savoir observer, questionner, manipuler et expérimenter, formuler une hypothèse et la tester, argumenter ; mettre à l’essai plusieurs pistes de solutions ; exprimer et exploiter les résultats d’une mesure ou d’une recherche en utilisant un vocabulaire scientifique à l’écrit et à l’oral (MEN Francia, 2008a) (« la culture scientifique et la technologie »)

La progresión de los conocimientos en función del grado de escolaridad se encuentra detallada en un documento de acompañamiento divulgado por el ministerio (MEN Francia, 2012). En él se detallan los elementos de cada núcleo temático de acuerdo a los temas presentados en los programas. Las competencias asociadas se enuncian en términos de conocer, saber, asociar, describir, distinguir, identificar, etc., que evolucionan hacia competencias de tipo comprender, explicar e interpretar ciertos fenómenos, etc. Observamos que no todas las competencias asociadas al “procedimiento de investigación” se encuentran relacionadas en esta progresión.

En lo que concierne a los temas, algunos de ellos se mantienen a lo largo del ciclo, involucrando en cada grado competencias diferentes. Otros aumentan en grado de complejidad o son utilizados para introducir otros temas. Por ejemplo, para el tema “luz y sombras” los estándares de CE2 (K-3) corresponden a lo que podríamos interpretar como el conocimiento de un fenómeno:

- « Connaître les conditions d’obtention d’une ombre »
- « Savoir qu’à plusieurs sources lumineuses correspondent plusieurs ombres »

En el año siguiente CM1 (K-4) lo estándares se perfilan hacia la explicación de este fenómeno utilizando nociones asociadas como distancias con la fuente luminosa y con el objeto. Se incluye además la comprensión de otro fenómeno que debe asociarse: la sucesión del día y la noche.

- « Savoir expliquer la variation de la forme de l’ombre d’un objet en fonction de la distance source lumineuse / objet et de la position de la source lumineuse ».
- « Mobiliser ses connaissances sur lumières et ombres pour expliquer et comprendre le phénomène d’alternance du jour et de la nuit »

En el último año del ciclo CM2 (K-5) se propone que el estudiante movilice los conocimientos adquiridos de ese fenómeno hacia la comprensión de otro fenómeno: las fases de la luna:

- « Mobiliser ses connaissances sur lumières et ombres pour comprendre et expliquer le phénomène de phases de la Lune »

El ejemplo anterior ilustra el tipo de competencias, que evocábamos anteriormente, cuya correspondencia al llamado “procedimiento de investigación” no es explícita. No obstante, se expresa claramente la intención que los estudiantes expliquen fenómenos y que estas explicaciones sirvan para construir modelos y explicaciones de otros fenómenos nuevos. De otra parte, observamos que se propone la evolución de los conocimientos: unos sirviendo de base para la adquisición de otros.

En aras de obtener una descripción global del perfil de conocimientos, hemos elaborado un resumen de los temas contemplados para cada ciclo y los hemos relacionado en la Tabla 3. Hemos escogido no incluir en este resumen las competencias definidas para estos conocimientos, invitamos al lector a remitirse al documento para obtener más detalles⁶

En la Tabla 3 se presenta un listado de conocimientos concernientes a diversas ciencias en algunos casos interrelacionadas. Si nos interesamos específicamente en la física, vemos que esta contribuye en núcleos temáticos como “el cielo y la tierra”, “la materia”, “la energía” que podrían asociarse a nociones de base y otros relacionados con la aplicación de estas nociones. Por ejemplo: “los objetos técnicos”. Lo anterior nos permite señalar la presencia de conocimientos físicos en el programa de primaria, en particular, en el último ciclo (CE2, CM1 y CM2).

Esta breve descripción del currículo francés ilustra de una parte, ciertas similitudes con el currículo colombiano en cuanto a los objetivos generales de desarrollar en los estudiantes la creatividad, el espíritu crítico y el cuestionamiento. Observamos en los programas franceses (así como en el caso colombiano) una desarticulación de prácticas basadas en la indagación y la progresión temática, establecida por ciclos. Se pone de manifiesto el riesgo de caer en posibles confusiones o simplemente de creer que estas prácticas pueden aplicarse indistintamente con los temas propuestos.

⁶ Para conocer la progresión en detalle se puede consultar el sitio web http://cache.media.eduscol.education.fr/file/Progressions_pedagogiques/77/1/Progression-pedagogique_Cycle3_Sciences_experimentales_et_technologie_203771.pdf (consultado el 19 de agosto de 2014)

Tema	CE2 (K-3)	CM1 (K-4)	CM2 (K-5)
El cielo y la tierra	- Luz y Sombras	- Luz y Sombras	- Luz y Sombras
	-Movimiento de la tierra y el planeta alrededor del sol	-Movimiento de la tierra y el planeta alrededor del sol	-El movimiento de la luna alrededor de la tierra
	- Volcanes y seísmos	- Volcanes seísmos, los riesgos para las sociedades humanas	- Volcanes seísmos, los riesgos para las sociedades humanas
La materia	-Estados y cambios de estado	- Mezclas y soluciones	- Estados y cambios de estado
	- La trayectoria del agua en la naturaleza	- El agua un recurso, la conservación de su calidad para sus diferentes usos	- El aire y contaminantes del aire
	-Residuos: reducir, reutilizar, reciclar		
La energía	- Ejemplos de fuentes simples de energía	- Ejemplos de fuentes simples de energía	- Necesidades energéticas, consumo y ahorro energético
Unidad y diversidad del [ser] vivo	- Presentación de la unidad del ser vivo	- Presentación de la biodiversidad	- Presentación de la clasificación del ser vivo
Funcionamiento del ser vivo	- Los estados de desarrollo de un ser vivo (vegetal y animal)	- Las condiciones de desarrollo de vegetales y animales	- Los modos de reproducción de los seres vivos
El funcionamiento del cuerpo humano y la salud	Higiene y salud (la alimentación, el sueño y el deporte)	- Primera aproximación de las funciones de la nutrición (digestión, circulación, circulación sanguínea)	- Reproducción humana y educación sexual
	- Los movimientos corporales		- Aprender a brindar primeros auxilios
Los seres vivos en su ambiente	- Lugar y función de los seres vivos, noción de cadenas y redes alimenticias	- Lugar y función de los seres vivos, noción de cadenas y redes alimenticias	- La adaptación de los seres vivos a las condiciones del medio
			- La evolución de un entorno gestionado por el hombre : los bosques
Los objetos técnicos	- Reglas de seguridad, peligros de la electricidad	- Circuitos eléctricos alimentados por pilas, reglas de seguridad, peligros de la electricidad	- Objetos mecánicos, transmisión de movimientos
	- Circuitos eléctricos alimentados por pilas	- Palancas y balanzas, equilibrio	
Medio Ambiente y desarrollo sostenible	- Los residuos, reducir, reutilizar y reciclar	- El agua : un recurso	- El aire y la contaminación del aire

Tabla 3. Síntesis de temas para la clase de ciencias contemplados en los programas de educación primaria francesa

En lo que respecta a las generalidades del programa al finalizar el ciclo 3 (MEN Francia, 2008a) observamos que la noción de problema tiene un lugar privilegiado en los conocimientos matemáticos. Se relaciona por ejemplo resolución de problemas con conocimientos numéricos y de cálculo, frecuentemente asociados a la vida cotidiana. La resolución de problemas también es entendida como una consolidación de conocimientos y capacidades asociadas a las magnitudes y mediciones. Se habla igualmente de problemas en la reproducción de configuraciones geométricas haciendo uso de las figuras conocidas. Las competencias a desarrollar se refieren a la resolución de problemas utilizando las 4 operaciones básicas. La parte correspondiente a una “cultura científica y tecnológica” no asocia la noción de problema a un conocimiento o tipo de conocimiento explícito.

Este análisis global que hemos llevado a cabo del currículo francés, nos permite identificar ciertas tendencias del contexto de la educación científica básica, como la voluntad de integrar prácticas basadas en la indagación al igual que el estímulo de una participación crítica y reflexiva de parte de los estudiantes. De la misma manera, observamos una cierta importancia otorgada al tratamiento de los problemas. En la siguiente sección describimos de forma más explícita lo que concierne la práctica de indagación, primero desde una visión general o a escala internacional y luego su aplicación en los casos particulares colombiano y francés.

3. La enseñanza de las ciencias basada en la indagación (ECBI) como una iniciativa a escala internacional: interpretaciones y puesta en práctica

Acuerdos internacionales favorables a una “educación para todos” (UNESCO, 1990), buscan la adquisición de conocimientos y el desarrollo de competencias necesarias para desenvolverse en la vida cotidiana. La alfabetización científica proporcionaría así a todo ciudadano el acceso a un conjunto de conocimientos mínimos, que contienen elementos disciplinares y también conocimientos propios a la naturaleza de la ciencia. En referencias como el Proyecto 2061, se lee:

Science literacy consists of a knowledge of certain important scientific facts, concepts, and theories; the exercise of scientific habits of mind; and an understanding of the nature of science, its connections to mathematics and technology, its impact on individuals, and its role in society (Project 2061 Principles of Reform) (AAAS, 1985)

La alfabetización científica parece objeto de diferentes interpretaciones (Gil-Perez & Vilches-Peña, 2001). Las intencionalidades de enseñanza científica podrían, en consecuencia, variar de acuerdo a estas interpretaciones. Conviene destacar sin embargo, que el desarrollo de competencias científicas representa uno de los retos fundamentales de esta alfabetización. Es alrededor de las competencias científicas que se han generado propuestas institucionales a nivel internacional.

Ahora bien, en el marco del desarrollo de las competencias científicas, es frecuente encontrar la voluntad pedagógica de enseñar las ciencias basándose en la indagación. Ya lo hemos visto en los currículos francés y

colombiano, también lo podemos observar en otros currículos como los estándares nacionales de competencias en educación científica estadounidense (NSES).

Las interpretaciones y adaptaciones que se desarrollan en los currículos alrededor de la indagación son diversas (Grangeat, 2013, Hayes, 2002). Nuestro interés no será explorarlas a profundidad sino esclarecer ciertos elementos de una posible caracterización y, en lo posible, determinar cómo estos elementos son puestos en práctica dentro de los contextos de este estudio: la enseñanza de las ciencias en Colombia y en Francia.

Empezaremos con una interpretación frecuente, que asocia la indagación a la reproducción de la actividad científica en el aula de clases. Esta interpretación nos llevará a identificar una secuencia de prácticas asociadas a la indagación y la forma en cómo éstas han constituido una orientación para la enseñanza. Otros elementos serán también identificables como el potencial experimental, la importancia de la formulación de preguntas y la consecuente participación activa del estudiante.

Tomemos entonces algunas definiciones que pueden constituir una referencia para maestros y profesores a la hora de entender el significado de la indagación. En estas se observa, como ya lo anunciábamos, el interés de considerar la actividad de los científicos como una pauta para lograr que los estudiantes aprendan conceptos científicos y desarrollen competencias (Harlen, 2004; MEN Colombia, 2004; MEN Francia, 2008a; NRC, 2001; Saltiel, Worth, & Duque, 2009). Se presentan definiciones como por ejemplo:

Scientific inquiry refers to the diverse ways in which scientists study the natural world and propose explanations based on the evidence derived from their work. Inquiry also refers to the activities of students in which they develop knowledge and understanding of scientific ideas, as well as an understanding of how scientists study the natural world (NRC, 2001) (p 23)

Autores argumentan que este tipo definición no es objeto de un consenso (Grangeat, 2013; Hayes, 2002; Howes, Lim, & Campos, 2008), ya que se presta a diferentes interpretaciones. Por ejemplo, podría pensarse que la indagación permite aprender un método científico o que al contrario no habría que aprender un método, sino las nociones que pueden obtenerse a través de él (Barrow, 2006; Kapala, 2010; Tang, Coffey, Elby, & Levin, 2009).

A pesar de que el (NRC, 2001) reconoce que no todos los conceptos en ciencias pueden o deben ser enseñados mediante la indagación, la especificación sobre los temas o tipología de temas apropiados se muestra insuficiente. No percibimos una relación clara y explícita entre la indagación y la comprensión de los conceptos científicos a partir de nuestra lectura de los trabajos de investigación asociados.

Las actividades de connotación científica entretejen también las relaciones entre las ciencias experimentales y matemáticas. El informe de (Rocard et al., 2007) se propone la unificación de los propósitos del enfoque de indagación en ciencias experimentales y el de resolución de problemas usualmente utilizado en matemáticas

L'enseignement des sciences basé sur l'investigation constitue une approche basée sur les problèmes, mais avec une dimension supplémentaire étant donné l'importance accordée à l'approche expérimentale. Dans ce rapport, l'IBSE désignera l'enseignement des sciences basé sur l'investigation et la résolution de problème (Rocard et al., 2007) (p 10)

Ciertos autores sugieren el estudio del “procedimiento de investigación” en otras dimensiones como: las particularidades debidas al estudio de ciencias diferenciadas (Monod-Ansaldi et al., 2011), los antecedentes filosóficos et históricos (Rutherford, 1964 citado por Barrow, 2006) o las visiones sobre la ciencia (Harlen, 2004, Pélissier & Venturini, 2012), entre otros.

Cabe preguntarse cómo una noción de tal complejidad puede incorporarse a la enseñanza de las ciencias. En los currículos se observa por ejemplo la sugerencia de pasos o etapas como si se tratara de un protocolo. Es posible que esto se haga bajo una intención de simplificar las instrucciones curriculares dirigidas a docentes y directivos. Investigaciones señalan que la secuencia “hipotético deductiva” es frecuentemente asociada por los docentes a la práctica de indagación (Monod-Ansaldi et al., 2011). Sin embargo, la idea de ejercer la actividad científica por etapas no es nueva ni exclusiva de las prácticas basadas en la indagación.

En efecto, (Cariou, 2003) señala la existencia de itinerarios de tipo OHERIC (Observación, Hipótesis, Experiencia, Resultados, Interpretación, Conclusión) (Giordan, 1976), así como los que se refieren a “procesos de investigación” (Gil-Pérez, 1993) y a “prácticas experimentales de laboratorio” (Giordan, 1999) y propone “un modelo simplificado y aproximativo de una práctica hipotético-deductiva”: DIPHTERIC⁷, que él califica como más general (que los modelos anteriores). Todos estos modelos evocaron en su momento la actividad científica en la escuela.

En lo que respecta al currículo colombiano, el eje “me acerco al conocimiento como un científico natural” sugiere un itinerario muy similar a los presentados anteriormente. Allí se observa que la formulación y la solución de problemas ocupan un lugar importante. Como lo hemos visto, esta práctica asociada a la “ciencia natural”, parte de unas actividades básicas que durante el paso de un grado escolar a otro se vuelven más complejas.

Otras iniciativas complementarias a las indicaciones institucionales como las iniciativas de “la main à la pâte” en Colombia (“Pequeños científicos”) son estimadas como un referente nacional de ECBI, en el cual el gobierno confía algunas de sus acciones (ver Figueroa, 2011). En ellas también se sugiere que este acercamiento se realiza a través de un “método científico”.

La práctica pedagógica de Pequeños Científicos está, pues, orientada a la adquisición paulatina de conocimientos y competencias científicos a partir de una aproximación a las ciencias que utiliza el método científico, o su traducción a la actividad infantil: observación de un fenómeno, manipulación de elementos del fenómeno, planteamiento de preguntas, realización de pequeñas experiencias iniciales para ir haciendo cada vez más concreto el objeto de estudio y más centrado el proceso de indagación, planteamiento de hipótesis, diseño y ejecución de experiencias para verificarlas, análisis de resultados e identificación de patrones, confrontación de hipótesis y conclusiones finales (Equipo Pequeños Científicos, 2002).

Por otra parte, en el caso francés, el ministerio de educación divulgó documentos oficiales introductorios al procedimiento de investigación que sugieren su desarrollo en un itinerario de momentos principales constituyentes de estas prácticas (Cariou, 2009; La main à la pâte, 2004)

⁷ **Di** (Données initiales / Datos iniciales) **P** (Problème Scientifique/Problema científico) **H** (Hypothèse / Hipótesis) **Te** (Test d'une conséquence déduite / Prueba de una conclusión deducida) **R** (Résultats du test à analyser/ Resultados de la prueba para analizar) **I** (Interprétation / Interpretación) **C** (Conclusion concernant l'hypothèse / Conclusión acerca de la hipótesis)

- ❖ **Elección de una situación inicial o una situación problema de parte del maestro**
- ❖ Cuestionamiento de los estudiantes (apropiación del problema)
- ❖ Formulación de una hipótesis y la concepción de una investigación
- ❖ Investigación dirigida por los estudiantes
- ❖ Adquisición y la estructuración de los conocimientos

La indagación podría verse así interpretada como un entrenamiento por repetición de habilidades técnicas, un saber hacer que se repite de forma similar cada vez que se pone en práctica una iniciativa de enseñanza basada en la indagación. Para (Harlen, 2004) es un error considerar la indagación solamente como la ocasión de optimizar competencias, ya que esta interpretación iría en detrimento de la integración de la comprensión de los estudiantes.

Para el NRC (2001), la indagación requiere del uso de un pensamiento lógico y crítico asociado a actividades como la observación el planteamiento de preguntas, la evaluación de la información, la planeación de una investigación, la proposición de explicaciones y predicciones y la comunicación de resultados (p 23).

Tales requerimientos imponen un conocimiento de la actividad cognitiva de estudiante que va más allá de la comprensión de sus concepciones iniciales o sus motivaciones comúnmente relacionadas a la indagación. Otros componentes de la actividad racional pueden ser interpretados en el marco de otras definiciones. Rocard et al., 2007, toman como referente una definición propuesta por Linn, Davis, & Bell, allí se presenta la indagación como un proceso intencional, donde se distinguen posibles alternativas de puesta en práctica:

Par définition, une investigation est un processus intentionnel de diagnostic des problèmes, de critique des expériences réalisées, de distinction entre les alternatives possibles, de planification des recherches, de recherche d'hypothèses, de recherche d'informations, de construction de modèles, de débat avec des pairs et de formulation d'arguments cohérents (Linn, Davis, & Bell, 2004 cité par Rocard et al., 2007) (p. 13)

En 1996, George Charpak inspirado por el programa “Hands on” (Chicago), propone el término “*investigation*” como una interpretación da la noción “*inquiry*” aplicada a través de este programa estadounidense).

L'esprit de "la main à la pâte" (Hands On dans l'expérience menée à Chicago) ne se réduit pas à une simple manipulation par les enfants d'un assemblage un peu hétéroclite d'objets plus ou moins usuels. Aux Etats Unis, les directives nationales (les standards) sont d'ailleurs publiées sous le nom d' « Inquiry », terme qui signifie enquête, investigation, recherche de preuves. Les enfants agissent, touchent les objets et expérimentent, mais ne sont pas livrés à une manipulation vide de sens et purement ludique. Des questions accompagnent leur enquête et les guident vers l'élaboration de connaissances (« La main à la pâte. Les sciences à l'école primaire », p 74. Fondation de Treilles 1996).

El PRESTE⁸, se refiere explícitamente a la “*investigation*” como parte de una iniciativa para potencializar el cuestionamiento y la participación de los estudiantes (MEN Francia, 2000), contemplada en las instrucciones

⁸ Plan de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école (Plan de renovación de la enseñanza de las ciencias y de la tecnología, MEN Francia, 2000)

para la enseñanza de la ciencias en los programas de educación primaria en Francia. En Colombia, como en América Latina la noción “inquiry”, iniciativas asociadas IBSE⁹ (en español ECBI) y/o inspiradas por el programa “la main à la pâte” son asociadas al término “indagación”¹⁰.

Ahora bien, algunos autores en el campo de investigación anglosajón atribuyen la introducción del término “inquiry” al contexto escolar estadounidense (específicamente en el grado K-12) a J. Dewey, mediante una recomendación orientada a la formación científica del profesorado. Esta propuesta desarrolla la implicación personal de los estudiantes y el rol facilitador del docente (Barrow 2006).

In 1916, Dewey had encouraged that students be taught so that the students could be adding to their personal knowledge of science. To accomplish that, students must address problems that they want to know and apply it to the observable phenomena (Barrow, 2006) (p 266)

En la obra “The theory of inquiry” (Dewey, 1938b) la indagación puede ser comprendida bajo una forma de intervención racional del sujeto, ya que es él quien dirige el proceso de determinación de una situación que puede ser “confusa”, “oscura” o “contradictoria”: una situación problemática. Esta transformación no se da por casualidad, es dirigida por el intelecto, y su forma individual de identificar “datos” en las situaciones le indica la manera de interpretarlas a la luz de las “condiciones” conocidas.

Inquiry is the controlled or directed transformation of an indeterminate situation into one that is so determinate in its constituent distinctions and relations as to convert the elements of the original situation into a unified whole (...). The search for the pattern of inquiry is, accordingly, not one instituted in the dark or at large. It is checked and controlled by knowledge of the kinds of inquiry that have and that have not worked (Dewey, 1938b) (p 104)

De forma general, podemos elucidar un componente significativo en el rol del estudiante: conducir su propia práctica de indagación. Vale la pena señalar que autores como Harlen, (2004) consideran que los estudiantes de la escuela primaria, no pueden en esta etapa explotar con profundidad estos conocimientos y habilidades. Sin embargo, ellos podrían desarrollar actividades en torno a la identificación de preguntas de su interés y a estimular la búsqueda de respuestas propias. Esto gracias a la observación, el cuestionamiento y la interacción con otros estudiantes.

En el caso colombiano, la indagación se sugiere explícitamente en el currículo, pero no explica a los maestros la manera de proceder, ni las condiciones necesarias para la aplicación de la indagación como alternativa de enseñanza. El efecto de la aplicación de este tipo de prácticas sobre el aprendizaje de los estudiantes, no se muestra claro desde el punto de vista de la investigación en el contexto nacional. Consecuentemente, no percibimos de parte del Ministerio advertencias sobre los posibles riesgos que conlleva esta práctica. En ese orden de ideas, observamos una amplia confianza en la indagación para el aprendizaje de conocimientos científicos.

⁹ Inquiry Based Science Learning

¹⁰ ver por ejemplo las acciones del proyecto “indagala”: <http://www.indagala.org/> (Consultado el 15 agosto de 2014)

En Francia, un informe publicado seis años después de la reforma de la Inspección General de la Educación (2011), señala que alrededor de un tercio de los maestros en la escuela primaria harían uso del “procedimiento de investigación” y que [solo] en el 15 % de [estos] casos las situaciones propuestas tendrían el carácter “problemático” [esperado]. También se sugiere un bajo nivel de trabajo sobre las hipótesis de los estudiantes, a pesar de que se evidencia un alto interés en sus representaciones iniciales. Esta situación pondría en detrimento las actividades de investigación.

4. Determinación de un escenario de discusión a partir de los puntos comunes de tres perspectivas (currículo colombiano, programas franceses y prácticas de indagación)

Las descripciones desarrolladas anteriormente dan cuenta de un conjunto de intencionalidades en contribución a la formación científica, notablemente en la escuela primaria. A pesar de las diferencias en cuanto a los contextos culturales observamos puntos en común de interés tanto para la comunidad educativa colombiana como para la comunidad educativa francesa. La descripción de los elementos de una enseñanza basada en la indagación, fundamentado en el marco internacional confirma el interés de pensar la formación científica más allá de las fronteras nacionales. Este estudio se quiere consecuente con dicho interés.

Para comenzar, esta triple mirada nos revela puntos de intersección para una reflexión en ese contexto: en primer lugar, el posicionamiento de las competencias como estrategia de la alfabetización científica parece llevar las reflexiones por la vía de la “actividad”. Tanto en el caso colombiano, como en el caso francés se observa la voluntad de desarrollar competencias de tipo “observar”, “formular preguntas”, “construir hipótesis”, etc. La lectura del currículo en cuanto a los temas favorables de la aplicación de esta “actividad” se muestra confusa.

Específicamente nos llama la atención la presencia significativa del problema científico en estos programas. El rol del problema es variado: una preparación para la vida cotidiana, una preparación propedéutica o un componente de una cultura mínima esperada al final de escolaridad, que le permite al estudiante desenvolverse como ciudadano. La formulación y solución de problemas se concibe en el marco de las disciplinas científicas, las matemáticas y la tecnología. Según los documentos oficiales, esto se muestra posible desde la primaria y se intensifica en la secundaria.

Por otra parte, hay que tener en cuenta que existe en los programas una valoración importante del componente experimental, también desde edades tempranas. Evidentemente las posibilidades de explotación varían en función del grado de escolaridad, pero es importante resaltar aquí que las competencias experimentales hacen parte constitutiva de la cultura científica deseada.

Ahora bien, la formulación y solución de problemas se encuentran presentes en la tradición de enseñanza científica descrita por los programas y también en el escenario particular de la ECBI (Enseñanza de las Ciencias Basada en la Indagación). A pesar de que no hay un consenso sobre la definición o forma que toman las

prácticas de indagación, en ellas se percibe, como la experimentación y la enseñanza basada en el tratamiento de problemas, el desarrollo de cualidades como el espíritu crítico, la motivación y el cuestionamiento, entre otros.

Concretamente, señalamos una voluntad significativa en los programas para implementar el tratamiento de problemas a lo largo de la formación primaria. Una tarea generalmente confiada a los docentes, cuya formulación toma la forma de situaciones-problema o preguntas generadoras de conocimientos. En este contexto, el rol del estudiante se relaciona con la apropiación del saber y con la implicación en la solución del problema. Esta última requeriría de la aplicación de sus conocimientos en situaciones concretas destinadas al aprendizaje.

Orientar las acciones de investigación hacia el estudio detallado del problema, como puente para la adquisición de conocimientos científicos, nos parece esencial. Acorde con la voluntad de otorgar mayor atención a la construcción de problemas, nos proponemos en esta investigación estudiar la forma como los docentes llevan a cabo dicha construcción para la elaboración de propuestas en el marco de prácticas de indagación, teniendo presente la necesidad de que se muestren fecundas desde el punto de vista de la adquisición de conocimientos científicos.

En ese contexto, una primera parte de nuestra discusión se enfocará hacia el estado actual y las posibles formas que pueden tomar el problema en el contexto escolar. La comunidad de investigadores interesada en este campo señala, a través de sus resultados, algunas dificultades inherentes a interpretaciones y prácticas diversas, particularmente a aquellas asociadas a las prácticas tradicionales de resolución algorítmica de problemas. Veremos opciones alternativas tanto en el campo de la física como en otras ciencias, identificables a través de los resultados de la investigación. Trabajos más recientes, en resonancia con los programas, proponen un desarrollo más equilibrado entre la construcción de problemas y la solución de problemas con miras a la atribución personal de sentido a una situación con potencial “problematizador”.

Una práctica docente conforme a estas disposiciones curriculares requiere, como lo proponen ciertos investigadores, reflexión sobre el potencial de intervención del docente tanto en el campo de los conocimientos científicos como en el campo de una cultura epistemológica. Nos detendremos en elementos puntuales de la forma en cómo diferentes grupos de docentes se han apropiado de las metodologías ECBI según algunos estudios de referencia.

Una vez identificadas las expectativas institucionales y señaladas posibles formas de interpretación, pasaremos a consultar algunas referencias en el marco epistemológico sobre lo que significa construir un problema, en retrospectiva con las formas escolares propuestas tanto en los currículos como en el campo de la investigación en psicología cognitiva y didáctica. Trataremos así, en un estudio no exhaustivo, preguntas concretas que permitan la interpretación del rol del problema en el contexto de la construcción del conocimiento científico. Finalmente estas cuestiones serán delimitadas a través de las posibles construcciones alrededor de un tema particular: el rebote de las esferas. En efecto, este tema será analizado desde el punto de vista científico con el

fin de obtener un panorama general de las posibilidades (en términos disciplinares) de construcción de problemas.

Hemos llevado estos cuestionamientos al seno de la comunidad docente y es a través de la segunda parte de este documento que describimos nuestras elecciones en términos metodológicos para la recolección de datos que nos ayuden a responder las preguntas de investigación definidas a lo largo de la primera parte. Describiremos así una propuesta de formación basada en los principios de indagación propuestos por Dewey. El seguimiento de esta formación será analizado a la luz de los fundamentos teóricos y metodológicos de la teoría de la problematización, lo que representa una parte significativa, pero no exclusiva de nuestra exploración.

Para ello, de manera introductoria, sugerimos un estudio de las posibles formas de construcción de problemas alrededor del rebote de las esferas a través de resultados históricos tratados por expertos en el campo de la historia de las ciencias y de los cuales hacemos uso para proyectar posibles maneras de abordar estas nociones en el dominio disciplinar de la física y en particular en el tema central de nuestro estudio, el rebote.

El reducido nivel de explotación de la problematización en el campo de la didáctica de la física nos llevará a adaptar ciertas herramientas y nociones esenciales para nuestro contexto particular. Creemos que el conjunto de elementos presentados en los dos primeros capítulos constituyen una preparación adecuada para incursionar en el campo de la interpretación y análisis de los resultados.

En efecto, en la tercera parte presentamos una descripción de la forma en cómo los docentes, al ser confrontados con una situación indeterminada, construyen problemas científicos. Los elementos que componen este capítulo nos darán elementos de juicio para identificar en primera aproximación una tipología de problemas de los cuales los docentes se apropian, así como sus cuestionamientos desde el punto de vista disciplinar. Posteriormente, se identificarán los elementos de solución posibles de un problema dado, su grado de científicidad y los argumentos que sostienen sus construcciones, que serán analizadas desde una perspectiva disciplinar pero también desde la perspectiva de una cultura epistemológica disponible reflejada por decisiones y acciones que sugieren una diversidad de prácticas de indagación.

PARTE 1: Definición de una problemática alrededor de la construcción de problemas en la clase de física

1. El rol de los problemas científicos en la clase de física

La lectura de las disposiciones curriculares en los contextos francés y colombiano, conlleva a reflexionar sobre las características del conocimiento en física y por ende, de los problemas que pueden asociarse a su enseñanza. Es necesario comprender las acciones desarrolladas en el aula de clase para complementar las iniciativas actuales del currículo escolar. Una amplia tradición de reflexiones e investigación en torno al problema en el contexto escolar nos proporciona algunos argumentos para alimentar esta lectura y tendencias conocidas de investigación nos ayudarán a entender la importancia no solo de la resolución de problemas, sino también de la noción de construcción de un problema para el aprendizaje científico.

El desarrollo de esta discusión, a nuestro parecer, necesita del apoyo de una revisión sucinta de posturas de dimensión epistemológica construida a partir de algunas referencias de trabajos reconocidos durante el siglo XX. Nos cuestionamos a través de esta lectura sobre la naturaleza de los conocimientos científicos y el rol que juegan los problemas dentro del proceso de construcción de los mismos.

Ciertas orientaciones propias a la ECBI (Enseñanza de las Ciencias Basada en la Indagación) y algunas características estudiadas en las disposiciones curriculares resuenan con acciones desarrolladas en el contexto escolar, identificadas gracias a los trabajos de investigación. Estos serán asociados particularmente, a una postura sobre la cual se fundamenta nuestra comprensión sobre las prácticas de indagación y la consecuente construcción de problemas: las posturas de Dewey en el contexto de su obra "The theory of inquiry" (Dewey, 1938b). Aunque este no será, evidentemente, nuestro único referente, esta será una discusión importante para entender los posteriores desarrollos relacionados con la dimensión metodológica.

Los problemas científicos en el contexto escolar

El problema ocupa un lugar muy importante en la clase de ciencias que no se limita solamente a la evaluación, sino que concierne a la enseñanza y el aprendizaje (Orange, 2009). Ya desde inicios del siglo XX se discutía sobre la resolución de problemas en el campo educativo (Jessup, 1998). En la década de los 70, la resolución de problemas es considerada como un elemento clave en la educación en ciencias (Sigüenza & Sáez, 1990). Sobre las propuestas clásicas de (Polya, 1945) se desarrollan unos modelos algorítmicos más o menos precisos (Gil Pérez, Martínez Torregrosa, & Senent Pérez, 1988). La resolución de problemas se estableció así como propuesta para la enseñanza de las ciencias, los problemas de lápiz y papel tuvieron un espacio privilegiado tanto en las investigaciones de los años 80 (Brunet, 1998) como en el aula de clase (Martinez Losada, Garcia

Barros, Mondelo Alonso, & Vega Marcote, 1999). Este movimiento de enseñanza de las ciencias por medio de resolución de problemas se enfrenta a críticas diversas, por ejemplo, en el área de la física, la larga tradición y uso de estos problemas, no parece reducir la tasa de fracaso en los estudiantes (Gil Pérez et al., 1988). En biología, algoritmos matemáticos carentes de estrategias de solución, no parecen contribuir a una verdadera comprensión en la resolución del problema (Sigüenza & Saez, 1990).

Las propuestas de ciertos autores (Brunet, 1998; Fabre, 1997; Gil Pérez et al., 1988; Orange, 2005; Sigüenza & Sáez, 1990) sobre las formas que ha tomado el problema en la enseñanza de las ciencias nos lleva a identificar al menos dos formas de enseñanza que marcan criterios de diferenciación entre las modalidades de clase, aunque no se descarta una coexistencia de estas.

- ❖ Tendencia de transmisión o modelo clásico de “resolución de problemas”, centrados en algoritmos. A ellos corresponden esencialmente los procedimientos que privilegian la obtención de una respuesta en detrimento del sentido de la formulación misma del problema. Esta caracterización se relaciona con enunciados clásicos o problemas de “Lápiz y Papel” donde resolver problemas consiste en la reproducción de ciertos algoritmos. Se trata de una propuesta ampliamente incorporada a la enseñanza de las ciencias (Garret 1986 citado por Martínez Losada et al., 1999). Sin embargo, se han generado diversas críticas en diferentes disciplinas como por ejemplo en la enseñanza de la física (Gil-Perez et al, 1988) y de la biología (Sigüenza & Saez, 1990). Esta situación de inconformidad dio paso a diversas propuestas tendientes, por ejemplo, a una mayor participación de los estudiantes (Dumas- Carré & Goffard, 1997), a la resolución de problemas bajo la forma de investigación (Furio Mas, Iturbe Barrenetxea, & Reyes Martín, 1994), a la explotación de la creatividad (Garret, 1988), etc.
- ❖ Tendencia constructivista o socio constructivista¹¹: que dan una mayor participación al estudiante, una mayor importancia a sus conocimientos previos y concibe la construcción de conocimientos a través de conflictos (Arca & Carvita, 1993 citado por Brunet, 1998). Algunas formas de enseñanza constructivista son citadas por Brunet (1998): “métodos activos” (Dewey, Pierce), “pedagogía por objetivos” (De Landsheere G, 1976, D Hainatut, 1977), “pedagogía del problema” (Pochet, 1995) y “debate científico” (Johsua & Dupin, 1989).

Las tendencias y formas de enseñanza anteriores, permiten una aproximación al campo pedagógico y de la psicología cognitiva. En este sentido, el análisis del rol de problema en las dimensiones del aprendizaje, de las prácticas pedagógicas, llevan a (Fabre, 1997) a elucidar tres grandes formas de problema: la primera está asociada a las respuestas o la transmisión [del profesor], la segunda a la acción o preguntas [por el estudiante], la tercera a una síntesis e interacción entre las dos, lo que él llama “situación problema”. A pesar de que la “situación problema” tiene connotaciones diferentes de acuerdo a la disciplina (presente por ejemplo en la

¹¹ Se entiende este constructivismo desde una perspectiva en psicología (Piaget, Vigotsky y otros) y no desde el punto de vista epistemológico (Kant y otros).

enseñanza de las matemáticas, física, química, biología), puede identificarse un interés común hacia el constructivismo¹² (desde el punto de vista pedagógico).

En la síntesis presentada por Drevillon, (1988) se observa que dicha situación estimula en los estudiantes, ciertas conductas que parten desde soluciones descriptivas de la situación, pasan por soluciones algorítmicas y pueden llegar hasta la formalización (abstracción). El reconocimiento de la significación del problema desde el punto de vista del estudiante, abre las perspectivas hacia una relación reguladora maestro - estudiante o estudiante - tema de estudio. En efecto, los resultados de las investigaciones revisadas por Drevillon reflejan una conducta diferente del estudiante cuando explica la solución al maestro (o adulto) que cuando él mismo pone en práctica los procedimientos de solución. Por esta razón, el autor incita a profundizar en la comprensión de la significación de la situación problema atribuida por los estudiantes.

(Robardet, 2001) presenta la “situación-problema” en la enseñanza de la física, como una alternativa para estimular el surgimiento de las ideas previas en los estudiantes (obstáculos epistemológicos) para así “intentar atacar esta[s] concep[ciones]” a través de su confrontación con prácticas experimentales concebidas desde el punto de vista didáctico. Las situaciones inician en la proposición de preguntas, que se someten a una “problematización” (entendida por el autor como la concientización de la existencia del problema) y la generación de la necesidad de resolver el problema. Se espera que el estudiante se adapte a la situación mediante la “acomodación” y “asimilación” de nuevos elementos al sistema de conocimientos existente.

(Boilevin, 2005), señala que la situación problema haría posible la asimilación y acomodación de los conocimientos gracias a la separación y delimitación de las situaciones. Estas ideas constructivistas inspiradas por Piaget estarían en contradicción con el constructivismo “discontinuo” de Bachelard asociado a la superación de los obstáculos epistemológicos.

Por otra parte, Boilevin contrapone las prácticas propias a la “situación problema” y aquellas inscritas en el marco del “problema abierto”. Este último puede ser asociado, debido a sus características al movimiento de renovación de la resolución de problemas tradicional evocado anteriormente. Este movimiento sería el resultado de una colaboración conjunta por investigadores franceses y españoles, se inspiraría principalmente en un esquema de investigación tomando como referencia la actividad de los científicos expertos (Brunet, 1998).

El “problema abierto” presenta un enunciado (en forma de pregunta) libre de datos o sugerencias de modelización. Los caminos o rutas de resolución son elegidos por los estudiantes. De estos problemas se espera: una problematización del enunciado (definido esta vez como una clarificación del objetivo del problema), una modelización basada en las representaciones de los estudiantes, la formulación de hipótesis, la elaboración

¹² En disciplinas como las matemáticas, se observa por ejemplo el caso de Francia, donde los investigadores han elaborado una definición particular influenciados por la “Teoría de Situaciones Didácticas” (TSD) de Brousseau y la “Teoría Antropológica de lo Didáctico” (TAD) de Chevallard. Esta situación genera una extensión y diversificación de la noción del problema (Artigue & Houdement, 2007). El criterio de aprendizaje de elementos del conocimiento matemático estará dado por la solución de problemas en el contexto de situaciones particulares. La situación problema se presenta como alternativa de la adquisición de técnicas para la resolución de problemas presente en los programas en 1970, aunque su incursión en los programas se mostró discreta y poco explícita, el uso de la expresión de situación problema encontró su lugar también en otras disciplinas (Houdement, 2013, p 53).

de estrategias de solución, el control de la coherencia entre los resultados y las hipótesis, la determinación de nuevas preguntas y finalmente una retroalimentación del proceso (Boilevin, 2005, p 26).

En el caso de las matemáticas, el “problema abierto” deberá ser la ocasión para “realizar ensayos, conjeturas, pruebas y demostraciones”¹³ (Arsac & Mante, 2007, p 22). Estos también surgen de enunciados abiertos donde es posible la aplicación de diferentes procedimientos de solución (idem, p 21).

Los investigadores en la enseñanza de las ciencias de la vida y de la tierra (SVT en Francia), han desarrollado notablemente en el “debate científico” un escenario para la construcción de los problemas en clase, así lo reflejan las perspectivas de una diversidad de artículos publicados en un número especial (no. 40, de 2005) de la revista ASTER sobre problemas y problematización. Allí se pone de manifiesto el interés creciente por desarrollar trabajos en torno al marco teórico de “la actividad de la problematización”, que será tema central en nuestras discusiones posteriores. (Orange, 2009) observa por su parte en las prácticas de enseñanza de las ciencias de la vida y de la tierra un uso preferencial (casi dogmático) de los problemas explicativos de la forma “¿cómo?” que en ocasiones no cumple esta función (Orange, 2009, p 155). Desde un punto de vista más general, Orange señala que el rol “explicativo” de los problemas (generalmente asociado a las ciencias de la vida y de la tierra) puede adquirir formas variadas donde el problema constituiría, entre otros, una herramienta de formación de prácticas científicas:

Le problème peut être vu comme le moyen de fragiliser une conception ou de la transformer, dans un apprentissage par adaptation. Il est, dans d'autres cas, l'occasion de se former à une démarche scientifique. Ailleurs, c'est la problématisation qui est mise en avant, et les liens entre construction des problèmes et savoirs scientifiques¹⁴ (Orange, 2009) (p 152)

En suma, se constata a través de trabajos de investigación en didáctica, una diversidad de interpretaciones del rol del problema en la enseñanza de las ciencias. Siendo el problema un elemento esencial de las prácticas ECBI, las diversas interpretaciones del problema, resuenan con una diversidad de formas de indagación puestas en práctica en el contexto escolar observadas tanto en documentos de acompañamiento de algunos sitios (web) académicos (Mathé, Méheut, & de Hosson, 2008) como en prácticas efectivas de los docentes (Calmettes, 2009; Gyllenpalm, Wickman & Holmgren, 2010; Boilevin, 2013). Nos interesaremos a continuación en la forma en cómo los docentes se enfrentan a la instauración de estas iniciativas, cargadas de la intencionalidad curricular y didáctica vistas anteriormente.

¹³ « Faire des essais, conjecturer, tester, prouver »

¹⁴ “ El problema puede ser visto como el medio de fragilizar una concepción o de transformarla, en el aprendizaje por adaptación. En otros casos es la ocasión de formarse para una práctica científica. En otros contextos, se privilegia la problematización, y los lazos entre construcción de problemas y saber científico”

La situación de los docentes frente a la enseñanza de las ciencias y en particular a las prácticas de indagación

El conjunto de los requerimientos curriculares observados en la introducción, y en particular la perspectiva de una enseñanza “constructivista” donde el estudiante asume un rol en su proceso de aprendizaje, requiere a nuestro parecer, una reflexión sobre la práctica del docente. Nos parece importante señalar aquí algunos elementos que caracterizan el proceso de aplicación actual de dichas recomendaciones. Especialmente, quisiéramos dar una mirada al nivel de construcción de problemas estudiado en la práctica de indagación propia de los profesores de primaria.

Para comenzar, es importante señalar que ciertos estudios ponen de manifiesto la inconformidad de profesores de educación obligatoria acerca de las condiciones para un buen ejercicio de sus prácticas profesionales (MEN France, 2006b). La educación científica en la escuela primaria se ve enfrentada a diferentes problemáticas, debido en parte a la cantidad recurrente de cambios y a la lenta integración al desempeño profesional (Astolfi, 1995). (Fensham, 2002) señala que las iniciativas de renovación de los programas científicos promovidas en los años 60 por la National Science Fundation (Estados Unidos) o por la Nuffield Foundation (Inglaterra) fueron emprendidas en la educación secundaria como una preparación para los estudios científicos de la universidad. Así las cosas, la incursión en la escuela primaria sería más tardía y superficial, debido por ejemplo, a que los profesores no se sentían aptos para enseñar los fundamentos conceptuales. En las dos décadas siguientes se observaría en efecto poco interés en enseñar las ciencias en la escuela primaria.

Una situación similar es observada por algunos investigadores, que señalan que la cantidad de clases científicas en los programas de primaria es reducida (Obregoso, Vallejo, & Valbuena, 2010). Esto puede obedecer a decisiones tomadas por los profesores dentro de su aula. De acuerdo a los señalamientos de (Harlen & Holroyd, 1997), al no poseer suficiente confianza y conocimiento en el tema, los docentes se limitarían a una enseñanza expositiva de los contenidos o a enseñar sólo aquellos en los que sienten más confianza. En el ámbito científico los docentes preferirían enseñar biología o ciencias naturales antes que enseñar física. Este tipo de reacciones de los profesores llevan a pensar a los investigadores en limitaciones serias en el aprendizaje científico de los estudiantes (ibid. p 103). Particularmente, (Corrigan & Taylor, 2004), manifiestan

This reliance on particular teaching strategies is further illustrated by Russell, Bell, McGuigan, Qualter, Quinn & Schilling (1992) who noted that primary level teachers attempting to teach science and technology faced considerable problems that were embedded in an image of themselves as; not knowing how to plan science, not knowing how to teach science and technology, and not knowing and understanding the science conceptually. Inevitably these responses affected classroom practice. Many teachers adopted a didactic approach, transmitting specific facts; in these lessons there was little deviation from the lesson plan or set texts (Appleton & Kindt, 1999; Bencze & Hodson, 1999). (Corrigan & Taylor, 2004 p. 45-46)

En este sentido, pareciera lógico que los docentes se atengan a patrones o guías externas para enseñar temas que desconocen. Sin embargo, esto no los ayudaría a acompañar procesos individuales de los alumnos ni a

fomentar la creatividad o una resolución genuina de problemas (Harlen & Holroyd, 1997). De igual manera, se requeriría de una revisión de aspectos relacionados con la Naturaleza de las Ciencias, ya que a lo largo de una cultura de investigación (Adb-ek-Khalick & Lederman, 2000; Lederman, 1999; Porlán Ariza, García García, Rivero García, & Martin del Pozo, 1998; Robardet, 1998; Vázquez-Alonso, Manassero-Mas, Bennàssar-Roig, & García-Carmona, 2011, entre otros) se ha señalado que en la práctica docente se emiten mensajes incoherentes y en ocasiones con contradicciones internas (elaboración y estatus del conocimiento, relación con lo “real”, existencia de uno o varios métodos científicos etc.). En consecuencia, mayores esfuerzos de formación en torno a la cultura científica parecen necesarios.

En el estudio de un contexto internacional¹⁵, frente a la falta de consenso sobre la influencia de las concepciones sobre la naturaleza de las ciencias en las prácticas de los docentes así como a las recurrentes dificultades encontradas para aislar esta influencia de otro tipo de concepciones, Pélissier & Venturini (2012) se interesan por las relaciones entre las prácticas de enseñanza y el conjunto de concepciones sobre naturaleza de la ciencia y enseñanza – aprendizaje de las ciencias. En el marco de un mejor aprendizaje en esta dimensión, sugieren que la sola presencia de las prácticas de indagación no bastaría para lograr efectos sobre concepciones de la naturaleza de las ciencias.

En particular, la práctica docente relacionada con los problemas y su solución, es estudiada por investigadores como (Freitas, Jiménez, & Mellado, 2004). Allí se analizan las posibles variaciones en función del tiempo de experiencia profesional. El estudio del ejercicio docente de profesores portugueses con diferentes trayectos (un profesor novato y una profesora con 20 años de experiencia) ponen en evidencia la persistencia de una modalidad clásica de “resolución de problemas”¹⁶ en los dos casos. No obstante, la docente con más experiencia permite una mayor participación a los estudiantes y favorece la orientación del proceso mediante la formulación de preguntas, mientras que el docente novato se preocupa más por la institucionalización de respuestas que él mismo sugiere.

A partir de esta visión general, planteada por algunos estudios en el marco internacional, damos paso al estudio del contexto de los países que constituyen nuestro objeto de estudio: Colombia y Francia. Es así como, en lo que respecta al contexto colombiano, la complejidad de la oferta educativa para los docentes (al diseño de los programas, tipo de instituciones que los ofrecen, etc.) parece conducir el área de la investigación a niveles muy generales. La calidad de la formación docente expresada en los documentos disponibles, tocan temas transversales muy generales como la cobertura, la permanencia, la obtención de diplomas, el nivel de escolaridad de los docentes etc. Por esta razón, las evidencias aquí presentadas dan cuenta de una caracterización general, enfocada hacia los docentes de educación básica primaria.

¹⁵ Ver por ejemplo (Brickhouse, 1990; Lederman, 1999; Porlán Ariza, García García, Rivero García, & Martin del Pozo, 1998; Tsai, 2002) entre otros

¹⁶ Ya que a nuestro modo de ver, los principios son similares a aquellos impulsados en los años 80 (ver el párrafo de los problemas científicos en el contexto escolar)

En primer lugar, cabe señalar que para ser docente en primaria no es exigencia de ley tener un título universitario en educación (título genérico: licenciados). En el 2012 se reportó que el 83% de la población docente en el sector oficial tendrían un título profesional o de educación superior (Ome, 2012). Los docentes sin título profesional corresponden generalmente a bachilleres normalistas¹⁷, es decir, bachilleres académicos con un ciclo complementario de especialización en docencia de una duración normal de 2 años. A un bachiller normalista se le es permitido enseñar en educación preescolar y educación primaria.

(Barrera-Osorio, Maldonado, & Rodríguez, 2012), señalan por su parte, que la planta docente en Colombia (sector público y privado) presentaría (para el año 2012) una proporción de 75% de licenciados y normalistas (formación en el campo de la educación) frente a un 25% de profesionales de otras áreas (diferentes a la educación).

Ciertos autores coinciden con que la calidad de la formación docente en Colombia es deficiente (Barrera-Osorio et al., 2012; García Jaramillo, Maldonado Carrizosa, Perry Rubio, Rodríguez Orgales, & Calvo, 2014; Maldonado, 2014). Varios son los argumentos que justifican estas afirmaciones: en primer lugar, los bajos resultados de las pruebas estandarizadas a nivel internacional (PISA) de los desempeños de los estudiantes, que son utilizados como instrumento estadístico para estimar el desempeño de los docentes (ver ICFES, 2012: “Calidad de la educación básica y media en Colombia). En este tipo de estimaciones se tienen en cuenta igualmente los resultados de las pruebas presentadas por los estudiantes al finalizar el bachillerato (Pruebas “Saber 11”). (García Jaramillo et al, 2014) constatan que un porcentaje significativo de estudiantes con bajos desempeños en estas pruebas (“Saber 11”) acceden a las carreras de docencia (área llamada “Ciencias de la Educación”) y que en las pruebas presentadas al finalizar la formación de primer ciclo (pruebas “Saber Pro”) el desempeño en áreas como “competencias ciudadanas”, “lectura crítica” y “razonamiento cuantitativo” es menor que el de los profesionales de otras áreas.

Los autores cuestionan así la calidad de los programas de formación inicial de los docentes y señalan además que de 3340 programas de pregrado se cuenta con 376 programas de licenciatura (programas de formación universitaria para profesores). Castro, (2009), anunciaba para el 2008 una repartición casi equilibrada entre la preparación para la formación básica (primaria y secundaria) (42.6%) y para la formación media vocacional (liceo) (40.7%).

Lo anterior nos lleva a estimar que alrededor del 11% de la oferta total de formación estaría consagrada a la docencia y que de seguir la tendencia de repartición encontrada por Castro (~40%), la oferta de formación para docentes de educación básica se reduciría a aproximadamente un 4% de la oferta total. Los costos de inscripción varían según el carácter público (80 instituciones) o privado (206 instituciones) de las IES

¹⁷ Bachilleres egresados de las Escuelas Normales Superiores que reciben el título de “Bachiller Académico con Profundización en Pedagogía”, según lo establecido en la Ley 115 de 1994 (Art. 29, 30 y 31) y en el Decreto 1860 de 1994 (Art. 11) de la República de Colombia. Este título otorga el derecho de enseñar en el nivel de básica primaria

(Instituciones de Educación Superior) de las cuales 80 son Universidades¹⁸. El MEN Colombia calcula un 35,8%¹⁹ de tasa de graduación de los estudiantes inscritos en los programas “Ciencias de la Educación”.

(Obregoso et al., 2010) señalan algunas dificultades que deberían tratarse en la formación de los docentes de los profesores de primaria en Colombia y algunos países de América Latina. Entre ellos se encuentra: la incorporación relativamente reciente de las ciencias en el currículo, dificultad en decidir el nivel de complejidad de estas materias en primaria, escasa presencia de materias científicas y de didáctica en los planes de estudio de los programas de formación inicial y poca confianza de los docentes en su práctica de enseñanza.

Por otra parte, en el estudio (Gallego Badillo, Pérez Miranda, Gallego, & Nery Torres, 2004) se analizó la formación de los programas dirigidos a licenciados que estarían llamados a enseñar ciencias. Este estudio abarca tres dimensiones del conocimiento (naturaleza de los conocimientos científicos, pedagogía y didáctica de las ciencias), los autores señalan una pobre definición de la pedagogía, en especial de la pedagogía de las ciencias y una noción de didáctica reducida a una dimensión puramente metódica desconociendo la didáctica como una disciplina teóricamente fundamentada.

Sin duda, otras investigaciones, nacionales, locales o estudios de caso sobre los conocimientos de los docentes colombianos podrían complementar las evidencias que hasta aquí hemos presentado sobre las condiciones actuales de formación científica, particularmente para la docencia en primaria. Estos estudios parecen pocos y alejados del contexto de construcción de problemas en el marco de la indagación²⁰. Sin embargo, consideramos que la caracterización elaborada puede dar cuenta suficiente de una necesidad de formación en general y que incrementar los esfuerzos investigativos solo podría beneficiar las iniciativas de formación que puedan ser emprendidas en este campo.

Ahora bien, pasando al contexto francés, observamos que los informes y publicaciones de investigación relatan con más detalle el estado de la formación científica de los docentes de primaria. Puede señalarse la existencia de una impresión no favorable de parte de entidades como la Asamblea Nacional, representada por la “comisión de asuntos culturales, familiares y sociales”. Allí pueden verse señalamientos de tipo: “carencias graves en la formación inicial y una formación continua casi ausente para el conjunto de docentes, así como una desvalorización de la profesión” (nuestra traducción p. 66). Esta a su vez expresa que la motivación de los profesores es un reto esencial para incrementar el gusto por las ciencias de los estudiantes franceses. En este informe se advierte del riesgo de una desaparición de las materias científicas en los niveles de educación primaria. Los docentes tendrían un bajo nivel de preparación para asumir la enseñanza de estos contenidos, debido en parte a que un porcentaje elevado de profesionales de carreras no científicas integran la carrera

¹⁸ Cifras tomadas de (Herrera de la Hoz, 2011).

¹⁹ MEN Colombia, sitio web, fecha de actualización 31 de diciembre de 2013. Consultado en junio 2014. <http://menweb.mineducacion.gov.co/seguimiento/estadisticas/>

²⁰ Por ejemplo, en el sector público, COLCIENCIAS (Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación), administrador de fondos públicos para la investigación, ha financiado en los últimos 30 años 448 proyectos de investigación en educación, dentro de los cuales solo se reportan 14 sobre la formación de maestros. Ninguno de ellos concierne la evaluación o diagnóstico en términos de calidad de la formación científica de los docentes de primaria o de formación en indagación (Comunicación personal con Ingrid Rueda Sabogal, funcionaria de COLCIENCIAS, el día 26 de mayo de 2014)

docente²¹: al menos un 60% de ellos no tendría formación científica universitaria (Rolland, 2006, p 67: Reporte a la Asamblea Nacional Francia).

En el 2013, se crea el programa de maestría en el campo de la enseñanza, de educación y de la formación”, llamado Master “MEEF”. Este representa una opción de formación inicial para la enseñanza (primer grado, segundo grado, asesoramiento educativo e ingeniería de la formación) y una preparación para presentarse al concurso de contratación docente. Algunos estudios a nivel nacional²² centrados en estos programas, ponen de manifiesto una desigualdad de la oferta de formación en términos de número de horas de instrucción científica, desde un mínimo de 18 hasta un máximo de 70 horas.

Por su parte, la formación continua presenta dificultades de diferentes tipos: el volumen global de formación científica dirigida a los docentes, en el 2010, representaría solamente un 7% de la oferta de formación total, hecho al cual se agrega que un 50% de los profesores en ejercicio deciden no tomar ningún curso de formación continua (Academia de las Ciencias, 2010).

Otros trabajos nos permiten abordar aspectos más específicos de las problemáticas asociadas al contexto de la indagación. En este contexto es posible identificar interpretaciones de los docentes sobre el problema científico en el marco escolar. Por ejemplo, (Monod-Ansaldi et al., 2011) interrogaron a profesores de secundaria y media vocacional sobre la noción de problema y las posibles diferencias en función de su área de enseñanza.

Según los resultados observados, el rol del problema cambia significativamente para el área de matemáticas, donde se le es atribuida “la búsqueda de una solución” a diferencia de áreas como la física y la química o las ciencias de la vida y de la tierra, que parecen prestarse más a la formulación de hipótesis. La asignatura SVT, por su parte, parece prestarse más a la realización de prácticas explicativas.

Aunque podría cuestionarse la elección de las categorías de análisis de esta investigación, los diferentes roles que juega el problema, desde el punto de vista de los profesores, puede estar relacionado con la diferente naturaleza de conocimientos. En general, las tendencias más significativas en la caracterización de un problema por el conjunto de profesores, tienen que ver con la movilización de diferentes competencias y la aceptación de diferentes formas de resolución.

En particular, los profesores de básica secundaria privilegian la formulación del problema por los estudiantes. Los profesores de media vocacional (liceo) prefieren dar prioridad a las ideas previas y a la intervención de la experimentación (los profesores de básica primaria no participaron de esta investigación). De la misma forma se observa un mayor interés por cuestiones disciplinares en profesores que enseñan hacia el final del ciclo escolar. En las propuestas de los docentes de física y química, los estudios de (Mathé, Méheut, & de Hosson, 2008),

²¹ La legislación francesa actual admite el ingreso a la carrera docente (en primaria) de los profesionales provenientes de diferentes áreas (literaria, económica, científica, etc.) con un diploma de primer año de segundo ciclo “M1” (Master 1). Para su debido ingreso el aspirante deberá además presentarse a las entrevistas de admisión y exámenes previstos en el marco del concurso público “CRPE” (Concurs de Recrutement de Professeur des Ecoles): concurso de contratación de profesores de las escuelas.

²² (dell'Angello-Sauvage M., estudio en curso) comunicación personal del 9 de mayo del 2014.

muestran que los profesores confunden las tendencias de “situación problema” y “problema abierto” en los problemas prácticos experimentales y que muchos de estos no están acordes con las instrucciones curriculares. Además, las situaciones problema propuestas “no son siempre favorables a la aparición de problemas científicos” (ibid, p 68, nuestra traducción), la diversidad de los problemas generaría una diversidad de actividades, dentro de las cuales el punto de vista del estudiante (en términos de preguntas, hipótesis, predicciones, etc.) no siempre sería tenido en cuenta.

Esta diversidad de actividades también puede observarse en las prácticas efectivas de los docentes (Boilevin, 2013; Calmettes, 2009; Gyllenpalm, et al., 2010). En particular, se señala un énfasis marcado de parte de los docentes sobre el tratamiento de las concepciones erróneas (Mathé, 2010) y el hecho de que la problematización y la formulación de hipótesis no sean objeto de un trabajo reflexivo (Calmettes, 2012), entre otros posibles.

Lo anterior nos lleva a cuestionarnos sobre las prácticas docentes que se llevan a cabo en torno al problema en el marco de la indagación. Al reflexionar sobre la práctica docente en general, puede observarse una multiplicidad de relaciones. Podemos dimensionar por ejemplo, la experiencia personal de enseñanza (Freitas et al, 2004), las concepciones y percepciones sobre la Naturaleza de las Ciencias (NoS) (Lederman, 1992), la relación establecida entre el docente y la asignatura (Palmer, 2002). Las diferentes dimensiones en las que es posible analizar la práctica de los docentes puede llevar a la caracterización de un Conocimiento Pedagógico, en especial a través de lo que representa el PCK (Pedagogical Knowledge Contents) (Shulman, 1986), es decir los conocimientos específicos para enseñar una materia. Algunos autores como Grossman (1990) distinguen 4 dominios en el conocimiento del profesor a saber: pedagógicos generales (PK), contenido disciplinar (SMK), pedagógicos ligados al contenido disciplinar (PCK), y los conocimientos del contexto (KotC). Estas dimensiones parecen indisolubles al entender el PCK como una habilidad para “traducir” los contenidos a una diversidad de grupos utilizando estrategias metodológicas (Grimmett & MacKinnon, 1992). Sin embargo, el enfoque del PCK contiene algunos elementos que no estudiaremos explícitamente en esta investigación, como por ejemplo: el conocimiento de los profesores sobre las concepciones de los estudiantes, la gestión de la clase, el conocimiento de las disposiciones curriculares, etc. Estas razones nos llevan a tomar distancia del PCK como referente para nuestro trabajo.

No obstante, investigaciones diversas en Francia, se ha interesado en el PCK de los profesores en el contexto de las prácticas de enseñanza de la indagación (Jameau & Boilevin, 2014; Jameau, 2012). La lectura de estos trabajos evoca escasas prácticas de construcción de problemas, en el sentido en que ciertos docentes encuentran dificultades en dar continuidad entre la situación problema propuesta y las experimentaciones correspondientes; las preguntas productivas formuladas son regularmente impuestas por los profesores; las situaciones problema se reducen a corregir los “errores” de los estudiantes. Por otra parte, se observa que una práctica inductiva con fases de trabajo autónomo no garantiza la conceptualización de una noción por parte de los estudiantes (Jameau, 2012).

Dado que el estudio de las prácticas docentes desde diferentes perspectivas sugiere diferencias con las expectativas del currículo y contradicciones internas, valdría la pena preguntarse si los conocimientos de la escuela, pueden obtenerse por la vía de un paradigma de investigación. ¿Qué naturaleza tienen estos conocimientos? ¿Cuál es el rol de los problemas en la construcción de estos conocimientos? La adaptación que la ciencia ha sufrido desde la incursión y puesta a punto de los instrumentos de medida otorga mayor importancia al rol del laboratorio. Estas nuevas relaciones teórico-experimentales redefinen o modelan la experiencia. La física se muestra como un ejemplo representativo de este tipo de nuevas relaciones.

En las reflexiones de (Perdijon, 2007), sobre “La formación de las ideas en física” se entiende que el fin de esta ciencia es comprender los fenómenos observables. La elección de las observaciones que son juzgadas como “significativas e importantes” lleva a la constitución de los hechos, que pueden ser explicados mediante relaciones matemáticas. La reproducción de estos hechos bajo condiciones controladas representaría la experimentación. Para el autor, es la experimentación la que permite la verificación de hipótesis acordes a un sistema de principios aceptados. Son, en última instancia, esos principios los que gobiernan el proceso.

Más allá de la constitución de leyes o teorías, para Perdijon, “el verdadero triunfo de la ciencia” es encontrar la manera de que estas leyes sean evidentes: encontrar la necesidad de las leyes es “racionalizar lo real” (el mundo real) (p 92). Esto es precisamente uno de los saberes que parece ser olvidado en el contexto escolar:

Dans l'enseignement secondaire, le survol rapide de toute la physique néglige la vision historique au bénéfice d'un recours fréquent à des formules non justifiées et à la résolution de problèmes stéréotypés. Ainsi l'occultation des grandes idées conduit à donner une fausse image de la physique, qui prend l'aspect rébarbatif d'une science figée, sous-produit des mathématiques (Perdijon, 2007)

Algunas reflexiones sobre la ciencia y la construcción del conocimiento científico

Del párrafo anterior, y en especial del problema señalado por Perdijon, podría interpretarse una falta de reflexión sobre la naturaleza de la ciencia dentro del contexto escolar. Independientemente de cómo pueda definirse el discurso científico contenido en los currículos, la lectura de esta dificultad para darle sentido o ser conscientes de la necesidad de una ley, nos lleva a preguntarnos sobre la naturaleza de estos contenidos. ¿Por qué se hace necesario recurrir a la “visión histórica” para evitar procedimientos estereotipados de resolución de problemas? ¿A qué se refiere Perdijon cuando habla del aspecto de una ciencia fija?

Algunos autores concuerdan con una visión de ciencia donde estos contenidos son el producto de un proceso en el que participan la observación y la experiencia (ver por ejemplo Perdijon, 2007; Bunge, 1969; Chalmers, 1987). En otros planteamientos, como lo veremos más adelante, se expresa la importancia de entender un carácter dinámico (no “fijado”) de la ciencia, cuya evolución se refleja, por ejemplo, mediante las transformaciones que sufren las explicaciones al verse desprovistas de respuestas frente a un nuevo contexto, frente a un nuevo

problema o por la formulación de nuevas preguntas tras la obtención de respuestas que traen consigo nuevos problemas (Meyer, 2002).

La construcción y resolución de problemas se establece como una actividad inherente a la actividad científica (Fabre, 1999): para (Kuhn, 1970), los problemas en forma de anomalía son los que permiten ampliar el conocimiento mediante el descubrimiento científico, para (Popper, 1963) una teoría científica es un intento por resolver un problema científico, para (Lakatos, 1974), los problemas en forma de anomalía son claves para la transformación de los programas de investigación, para (Laudan, 1987) el progreso científico estaría determinado, entre otras cosas, por su capacidad de resolver problemas. Desde el punto de vista de Bachelard:

El espíritu científico nos impide tener opinión sobre cuestiones que no comprendemos, sobre cuestiones que no sabemos formular claramente. Ante todo es necesario saber plantear los problemas. Y dígase lo que se quiera, en la vida científica los problemas no se plantean por sí mismos (Bachelard, 1994, edición en español, p 16)

La construcción de problemas constituye, así un proceso de evolución de conocimientos, a partir de una situación inicial de observación y descripción de hechos o fenómenos identificados por el individuo. Esta primera descripción o datos empíricos son característicos del pensamiento pre-científico.

Enfin, si nous parvenions à prendre, à propos de toute connaissance objective, une juste mesure de l'empirisme d'une part et du rationalisme d'autre part, nous serions étonnées de l'immobilisation de la connaissance produite par une adhésion immédiate à des observations particulières. Nous verrions que, dans la connaissance vulgaire, les faits sont trop tôt impliqués dans des raisons. (Bachelard, 1993, p 44)

El pensamiento científico necesita de los hechos empíricos para la objetivación de las variables, la comprensión de los conceptos y la asociación de las matemáticas con la experiencia. Sin embargo, la abstracción encontraría, según Bachelard, una dificultad mayor, en el fuerte anclaje del espíritu "pre- científico" a las evidencias observadas que tienden a coartar las preguntas generadoras de nuevos conocimientos. Más allá de delimitar o catalogar pensamientos como racionalistas o empiristas, etc., reflexiones como la de los autores ya mencionados nos llevan a pensar que la adquisición de conocimientos da cuenta de un proceso dinámico reflejando una dialéctica empírico-racional. Para Bachelard el saber científico nace del paso de un saber asertorio (sujeto a las evidencias) a un saber apodíctico (necesariamente válido²³).

Particularmente, los planteamientos de (Dewey, 1938a), sugieren una dialéctica peculiar entre empirismo y racionalismo: una dimensión de práctica utilizada por Dewey que se pretende lejana de una simple reproducción de objetos sensibles para su estudio (Frega, 2006). Esta permite definir una forma singular de construcción del conocimiento situando al individuo como protagonista de un proceso de indagación que parte de sus prácticas ordinarias.

²³ Definición tomada de la RAE (Real Academia de la lengua Española). Diccionario en línea, <http://lema.rae.es/drae/?val=apodictico>.

Para Dewey, al igual que para los autores enunciados anteriormente, el problema es fundamental en el proceso de construcción de conocimientos “Sin problema, se anda a tientas en la oscuridad”²⁴ (Dewey, 1938a, p 3, nuestra traducción). El problema presenta aquí una connotación particular: siendo el problema una situación incompleta o indeterminada que generaría en el sujeto cuestionamiento o incertidumbre, esta es identificada como tal en el momento en que el sujeto decide emprender acciones para determinarla u organizarla. Las acciones conducentes a esta organización o determinación, es decir, a la construcción del conocimiento, pueden ser concebidas por una dialéctica entre hechos e ideas.

Ahora bien, algunos aspectos son asociados a la ciencia: falsabilidad, exigencia de justificación, búsqueda de causas (Huneman, 2001, p 10). El ejercicio empírico-racional de construcción de ideas científicas estaría sujeto a los conocimientos o teorías que posee el individuo (Chalmers, 1987). Se trata de construcciones no palpables obtenidas gracias a la interacción con lo palpable y es la interacción con el entorno, lo real, lo “natural” lo que lo hace posible. Dentro de la noción natural se diferencian, en un sentido aristotélico, las cosas que tienen en sí mismas la causa de su movimiento: plantas, animales, etc. y las cosas inanimadas que no poseen en ellas esta causa (el movimiento constituiría así el parámetro esencial de lo natural) (Hanuman, p 11). Sin embargo, según Huneman, la revolución científica hace que esta noción evolucione, una nueva visión: “la naturaleza es la existencia de las cosas en la medida en que son determinadas por la leyes universales”²⁵ (*“Prolégomènes à toute métaphysiques future”*, Kant citado por Huneman, 2001).

Las ciencias naturales, estudian a través de la experiencia el mundo que nos rodea, vivo o inanimado de lo infinitamente grande a lo infinitamente pequeño. De esta manera se busca comprender la existencia de los elementos que estudia y las posibilidades de evolución a través del tiempo. Los conocimientos científicos se elaboran así bajo principios de inteligibilidad de lo real y poseen un carácter predictivo y explicativo a la vez. Las ciencias naturales, antiguamente inscritas en el marco de la física (“La naturaleza y lo natural” (Capítulo II) de la Física de Aristóteles), se han ramificado y especializado a través del tiempo en las diferentes ciencias que hoy conocemos. Una asociación común a las ciencias naturales corresponde a la física, la química la biología (Bunge, 1996), la geología estaría también incluida en esta categoría. (Laming-Emperaire, 1969) propone incluir, por ejemplo y de una forma general las “ciencias de la tierra” (geología y geografía) dentro de las ciencias naturales²⁶. Discusiones más recientes se desarrollan en este sentido. Es así como se define la ciencia como

²⁴ *“Without a problem, there is blind groping in the dark”.*

²⁵ « La nature est l'existence des choses en tant qu'elle est déterminée par des lois universelles »

²⁶ Una definición de ciencias naturales y ciencias humanas, puede encontrarse en el boletín de la Sociedad de prehistoria francesa, bajo la intención de evitar la oposición entre ciencias exactas y naturales a las ciencias humanas : « *Les sciences dont l'objet est à l'échelle de l'observateur qui ne peut plus expérimenter, mais qui en revanche, date, situe et remplace l'expérimentation par des observations systématiques ordonnées dans l'espace et dans le temps. La localisation spatio-temporelle en devient un aspect essentiel. Ce sont elles que traditionnellement on regroupe sous les noms de sciences naturelles et sciences humaines* »

una “empresa de construcción y organización de conocimientos sobre el universo bajo la forma de explicaciones y verificaciones”²⁷.

La comprensión del término ciencia está asociada regularmente y de manera estrecha a su objeto de estudio y el proceso por el cual éste se lleva a cabo (el “método científico” es frecuentemente asociado a la forma en cómo el científico estudia el mundo natural), dentro del cual, como lo hemos visto, la creación del problema juega un rol capital. La naturaleza y el origen de los problemas pueden llegar a ser muy variados (un fenómeno inesperado en el sentido de una anomalía, la búsqueda de la relación entre dos variables para describir una situación, la creación de nuevos fenómenos).

Esto representa, entre otras cosas, uno de los argumentos para diferenciar los conocimientos específicos de cada ciencia. Las especificaciones atribuidas por (Bunge, 1996) a la física y a la química parecen estrechamente relacionadas con los instrumentos de medición. Es así como el autor expresa que “cada familia de instrumentos requiere su propia teoría” (p 18). Las explicaciones científicas estarían fundamentadas en la proposición y validación de hipótesis.

La física es una disciplina de las ciencias naturales que se distingue de la química, de la biología y de la geología por los objetos de los que se ocupa y por los métodos que aborda. Según Wigner, el trabajo del físico, consiste en “descubrir las leyes de la naturaleza inanimada”²⁸ (Wigner, 1960, p 3). La física puede definirse entonces como el dominio del saber que explora “la materia inanimada desde lo infinitamente pequeño hasta lo infinitamente grande”²⁹. Esta exploración puede tratar la estructura de la materia, su organización, su(s) movimiento(s), lo que implica objetos elementales o la interacción entre ellos. Como actividad científica, la física se refiere al conjunto de saberes (leyes de la mecánica, modelo estándar, ecuaciones de Lorentz, etc) y los procedimientos (o actividades) que conducen al descubrimiento o la creación del conocimiento. Estos pueden ser reagrupados alrededor de las cuatro actividades siguientes (no excluyentes unas de otras) puestas en práctica según los objetos y los tipos de problemas a abordar³⁰:

- ❖ Observación: el interés del físico reposa sobre aquello que ya existe, que ya está hecho. El problema consiste en describir aquello que ya está hecho y también en comprender cómo se ha llegado a ese punto. Estos problemas son abordados por astrónomos, mineralogistas, climatólogos, etc.
- ❖ La teoría: la actividad teórica consiste en la elaboración de modelos, frecuentemente matemáticos, que pueden ser puestos a prueba a través de la experiencia (p. ej. la teoría de cuerdas cuya validación experimental no es accesible)

²⁷ “Science (from Latin *scientia*, meaning “knowledge”) is a systematic enterprise that builds and organizes knowledge in the form of testable explanations and predictions about the universe” <http://en.wikipedia.org/wiki/Science>. Consultada el 28 agosto de 2014.

²⁸ « The physicist is interested in discovering the laws of inanimate nature »

²⁹ Comunicación personal con Rémi Mosseri, físico del LPTMC (Laboratorio de Física Teórica y Materia Condensada), Unidad mixta de investigación del CNRS (Centro Nacional de Investigación Científica), del día 5 de mayo de 2014.

³⁰ La siguiente lista es tomada de una entrevista realizada con el físico Remy Mosseri (LPTMC, CNRS), el 5 de mayo de 2014. El orden de aparición de estas actividades no se refiere a un orden de ejecución específico.

- ❖ Simulaciones virtuales: son utilizadas cuando los parámetros a considerar para un sistema dado son demasiados para poder ser controlados experimentalmente (p. ej. las simulaciones sobre el clima hechas a partir de una Tierra virtual: las predicciones sobre el calentamiento global no son experimentales sino construidas a partir de simulaciones que integran un conjunto de factores)
- ❖ Experimentación: puede tratarse del uso de propiedades sobre lo que pasa en la naturaleza, para hacer cosas que la naturaleza no puede hacer. El físico utiliza lo que ha descubierto (encontrado en la naturaleza o en las teorías) para construir un saber nuevo (p.ej. cristales líquidos, superconductividad). También puede tratarse de medir la respuesta observable a un estímulo creado en laboratorio, sobre objetos observables o no observables (caso en el que se procede a la caracterización de efectos inducidos a través de instrumentos macroscópicos que, por ejemplo, interaccionen con objetos microscópicos)

Perdijon, 2007, expresa que “la física estudia, a través de la experimentación, y la elaboración de conceptos, la materia y la radiación con relación al espacio y el tiempo (evidentemente, lo relacionado con los seres vivos es excluido)”³¹ (Perdijon, 2007, nuestra traducción, p 1). En ese orden de ideas, los problemas en física son diversos (explicación, creación de fenómenos, de objetos, predicción de comportamientos, etc.). Globalmente sus soluciones toman la forma de leyes, con las que se pretende comprender el “por qué” de la naturaleza inanimada (¿por qué la naturaleza (materia – radiación) es así?) y el “cómo” de su evolución en el tiempo (¿cómo se llegó a ese punto?, ¿qué pasaría si?). El procedimiento genérico de establecimiento (o descubrimiento) de esas leyes consiste en traducir los fenómenos naturales (observables o no) en magnitudes físicas que son relacionadas con el fin de establecer leyes, generalmente expresadas en lenguaje matemático.

Lo anterior conduce a estudiar los fenómenos naturales “jugando con los parámetros exteriores, sobre las condiciones (presión, temperatura, humedad, etc” (Mosseri, op. cit)). Ya sea teórica o experimental, virtual u observacional, la física se establece por la relación que entretiene con la experiencia (en un sentido empírico) manteniéndose como criterio decisivo de toda actividad asociada con la física. Consecuentemente, el proceso de validación del saber en física está basado en su “reproductibilidad” (Wigner, 1960).

Hacking, (2006) señala que las relaciones entre teoría y experiencia en la física actual son diversas, señala por ejemplo, que la experiencia fue una prioridad para la superconductividad (a partir de 1911), mientras que para el condensado de Bose-Einstein lo fue la teoría (hasta el momento de su “creación” en 1995). Hacking aclara que que la “creación de fenómenos” requiere de condiciones experimentales excepcionales únicamente posibles en los laboratorios avanzados.

En ese sentido, la física actual no estaría ligada a una revolución, al estilo de Kuhn en el marco de las revoluciones científicas (Kunh 1970), tampoco estaría caracterizada por refutaciones Popperianas. La física de nuestro tiempo estaría más relacionada con la sorpresa o el descubrimiento. Hacking propone el ejemplo del

³¹ « La physique étudie, par l'expérience et l'élaboration de concepts, la matière et le rayonnement en relation avec l'espace et le temps (ce qui a trait aux êtres vivant étant bien entendu exclu) »

enfriamiento por la técnica de Doppler, donde se considera una sorpresa el encontrar que había un fenómeno imprevisto y que los instrumentos funcionaban mejor de lo que se esperaba (Hacking, 2006) (p 220).

Por otra parte, en la actividad científica actual, se desvanece la idea de la construcción del problema por “un” científico, debido a que esta actividad se muestra, en general, de carácter colectivo: “al interior de su propia disciplina y más aun con respecto a las otras ciencias, cada científico es simultáneamente en una posición de especialista y de profano: el verdadero sujeto del conocimiento no es el individuo, sino un agente colectivo, en el cual, sin duda, el rol del individuo se mantiene esencial, pero donde el aspecto institucional es decisivo”³² (Saint-Sernin, 2002, nuestra traducción, p. 19).

La física, la experiencia y las leyes de la naturaleza

Ahora bien, con el interés de aproximarnos a las leyes físicas como leyes de la naturaleza, constatamos en las reflexiones de Wigner, 1960, que la existencia de estas se fundamenta en la posibilidad de constatar regularidades (p. ej. el tiempo de caída de una piedra soltada desde lo alto de la torre de Pisa no depende de la masa de la piedra, solamente de la altura de caída, esta no dependencia es válida en cualquier momento (pasado o futuro) y en cualquier lugar). La existencia de estas regularidades justifica la existencia de la física misma y estas regularidades se explican esencialmente a través de dos razones:

- 1 La física no sería posible sin el principio de invariancia.³³
- 2 Las regularidades dependen de un número restringido de factores (la gran mayoría de parámetros correspondería a parámetros no pertinentes), la elección de estos parámetros, condicionada a la habilidad y el ingenio del científico es lo que permite respetar la “reproductibilidad” de las experiencias³⁴.

All the laws of nature are conditional statements which permit a prediction of some future events on the basis of the knowledge of the present, except that some aspects of the present state of the world, in practice the overwhelming majority of the determinants of the present state of the world, are irrelevant from the point of view of the prediction. (Wigner, 1960, p 5)

El autor agrega que la elección y control de los parámetros pertinentes son los que posibilitan las predicciones. En esa época y aun hoy en día (à través de argumentos como los expresados por Mosseri) se reconoce que la física podría atribuirse como uno de sus más grandes aportes, la creación de dispositivos, instrumentos, maquinas, etc., cuyo funcionamiento se basa en esas predicciones (a manera de ejemplo, Wigner propone las centrales nucleares o los radares, Mosseri, por su parte piensa en los discos duros)

³² « A l'intérieur de sa propre discipline et plus encore à l'égard des autres sciences, chaque scientifique est simultanément dans une position de spécialiste et de profane : le véritable sujet de la connaissance n'est plus l'individu, mais un agent collectif, dans lequel certes, le rôle de l'individu reste essentiel, mais où l'aspect institutionnel est décisif »

³³ Es el principio de invariancia que permite a Mosseri, pensar en la posibilidad de la existencia de leyes físicas y que el trabajo del científico consiste en descubrirlas.

³⁴ Según Chalmers, [en oposición a un “inductivismo ingenuo”] los “prejuicios” de un científico, gobernados por las teorías científicas conocidas, le proporcionan los criterios para elegir entre este gran número de variables. En caso contrario, es decir sin prejuicio alguno, en la experimentación el científico estaría obligado a tener en cuenta todos los parámetros posibles o existentes (Chalmers, 1987, capítulo: “la observation et l'expérience sont guidées par la théorie” p 55)

En resumen, Wigner manifiesta :

The principal purpose of the preceding discussion is to point out that the laws of nature are all conditional statements and they relate only to a very small part of our knowledge of the world. Thus, classical mechanics, which is the best known prototype of a physical theory, gives the second derivatives of the positional coordinates of all bodies, on the basis of the knowledge of the positions, etc., of these bodies. It gives no information on the existence, the present positions, or velocities of these bodies. (p 6)

El autor agrega, que en física moderna las leyes de la naturaleza inanimada pueden ser catalogadas como “probabilistas”, lo que no les impide conservar su carácter “predictivo” en el sentido en que estas permiten realizar “apuestas inteligentes sobre las propiedades futuras del mundo”³⁵ (p 6)

En ese contexto, las leyes de la naturaleza son expresadas matemáticamente; es a través de esta formulación que las consecuencias de dichas leyes son estudiadas. Wigner señala de hecho que se trata del “lenguaje correcto” de la física (p 8), insistiendo en el hecho que este lenguaje no es nada evidente para el sentido común (el hecho que Newton exprese la ley de la gravitación con una segunda derivada no es intuitivo), las observaciones disponibles no parecen permitir la enunciación de esta ley de manera inductiva. Por otra parte, esta ley no es explicativa (no permite comprender por qué la tierra actúa sobre la piedra o sobre la luna, p 9). Las leyes matemáticas son descriptivas en cierta forma y compatibles con el carácter predictivo de las leyes de la naturaleza inanimada.

Sin embargo, como ya lo señalábamos, la física no se ocupa solamente del descubrimiento de las regularidades de la naturaleza, esta también se relaciona con lo que Wigner denomina “las condiciones iniciales” (p 11): por qué las cosas son como son, lo que por definición, no presenta un carácter regular.

La discusión anterior nos sugiere que existen variadas formas de abordar el estudio de un fenómeno, esto depende del tipo de problema que se desee abordar. Podemos esperar así de nuestro estudio sobre la construcción de problemas en física, la expresión de una variedad de problemas que obedezcan una diversidad de cuestionamientos. La elección de un fenómeno físico se hace necesaria para focalizar los fines de nuestro estudio. Pero antes, nos parece importante sentar los primeros elementos de una problemática de investigación.

Primera delimitación de la problemática de la investigación

En esta primera parte se presenta una recopilación de evidencias que permiten un acercamiento a la situación actual de la enseñanza de las ciencias, referido en particular a la construcción de los problemas científicos.

De esta manera observamos, que la construcción de problemas ocupa un lugar importante tanto en las disposiciones curriculares generales a nivel internacional como en el contexto de los países francés y colombiano. Esta voluntad concuerda con ciertos elementos sobre la naturaleza de las ciencias discutida por algunos autores del siglo XX. La discusión sobre la construcción de problemas en el marco de las ciencias

³⁵ « the conditional statements are probability laws which enable us only to place intelligent bets on future properties of the inanimate world, based on the knowledge of the present state »

experimentales, nos llevan a perfilar una caracterización del acceso al conocimiento científico como un proceso dinámico de formulación de preguntas y respuestas, bajo una interacción teórico- experimental. En esta se lleva a un espíritu pre-científico a trascender de las constataciones puramente empíricas para la elaboración de modelos, resultado de la abstracción. En ciencias físicas, las abstracciones elaboradas se expresan frecuentemente mediante modelos matemáticos, sin embargo el acceso al conocimiento en física no se concibe como una reproducción o simple aplicación de estas relaciones sino como la comprensión de éstas mediante la atribución de un sentido. Sin embargo, esta voluntad parece ser en ocasiones olvidada dentro del contexto escolar.

Las iniciativas de corte constructivista se presentan como una forma de contrarrestar dificultades como la reproducción no reflexiva de algoritmos para solucionar problemas. Tales iniciativas ponen en evidencia el rol de las interpretaciones y concepciones que dirigen las explicaciones de los estudiantes. Las “situaciones problema” dan prueba de la voluntad de estimular la aparición y transformación de dichas concepciones.

La enseñanza de las ciencias basada en la indagación, se introduce en el ámbito de la enseñanza como una voluntad de corte constructivista a escala internacional, donde se inscriben algunas disposiciones curriculares francesas y colombianas. Son diversas las maneras en que son interpretadas estas iniciativas para la enseñanza. Lejos de pretender una definición, cuya inscripción se debate entre el fin y los medios, es posible identificar algunos elementos característicos y estables tales como el desarrollo de habilidades científicas generadas a partir de situaciones abiertas y el incremento de una participación activa y autónoma de los estudiantes mediante la formulación de preguntas. Allí el trabajo experimental se presenta como herramienta principal.

No obstante, la implantación de una estrategia como tal se ha visto enfrentada a dificultades de tipos diversos. Dificultades en la interpretación y en la puesta en práctica se han relacionado con falencias de información (explicación y acompañamiento de reformas) y formación (conocimientos y competencias claves para su puesta en práctica). Estudios sobre la preparación científica y las prácticas docentes dejan entrever importantes vacíos de formación científica, así como una tradición de enseñanza arraigada en principios opuestos a voluntades actuales. Se han identificado, en general, deficiencias como la falta de confianza de los docentes para enseñar contenidos científicos y una consecuente evasión de temas científicos en clases de primaria, que vendría a agravar la poca presencia de los contenidos científicos en algunos programas académicos.

En lo que respecta a las prácticas de enseñanza basadas en la indagación, la formulación de problemas en función de la especificidad de cada disciplina (matemáticas, biología, física, química, etc.) ameritaría espacios más amplios de discusión. En ocasiones el uso del problema en clase no está destinado a la construcción de conocimiento científico: en el contexto mismo de la física se evidencian prácticas autodenominadas de indagación, donde el problema varía de rol entre la puesta a punto de un dispositivo, la ejecución de tareas técnicas, entre otras. La práctica de indagación en efecto toma formas diversas tanto en las prácticas efectivas como en las propuestas institucionales.

Específicamente, en la investigación se han señalado indicios de las dificultades en la proposición de problemas, por parte de los profesores de educación básica, en el contexto de la indagación. Entre ellos se encuentran deficiencias para lograr la apropiación de parte de los estudiantes, falta de coherencia y continuidad en las propuestas de los docentes, dificultad en la correspondencia entre la experimentación y su conceptualización.

Vemos de esta manera que los programas académicos colombiano y francés, valoran tanto la construcción como la resolución de problemas, pero la puesta en práctica de estas intenciones hace un gran énfasis aun en la resolución (a modo de algoritmo). La aplicación de estrategias pedagógicas de construcción de problemas depende en gran medida del material pedagógico disponible, pero aún más de la formación de los docentes.

Con el ánimo de proporcionar mayor autonomía y seguridad a los docentes en las prácticas de indagación, y en particular de estimular su reflexión sobre la importancia de la construcción de un problema, la propuesta de una formación que alimente el plano de los conocimientos científicos y los conocimientos sobre la ciencia, parece convenir a la situación de la formación científica actual de los docentes de primaria.

La presente investigación tiene como finalidad fortalecer formaciones de ese tipo: ella debe permitir, a largo plazo, proporcionar a los docentes confrontados con una modalidad de enseñanza basada en la indagación, puntos de apoyo de naturaleza metodológica y epistemológica que les permita una aproximación a la naturaleza científica como una actividad de construcción y resolución de problemas con sus estudiantes. Se trata por ejemplo de hacerles tomar conciencia de que para un mismo fenómeno, para una misma situación, existen problemas de diferente naturaleza (Beorchia, 2005) o aún más, de sensibilizarlos sobre el hecho de que todos los problemas enunciados a partir de una situación dada, no conducen necesariamente a la construcción de un conocimiento científico a través de la experimentación.

Para tal fin, nos proponemos estudiar la forma en cómo los docentes de primaria, sin una formación científica universitaria, conducen una actividad de “problematización” en sus etapas de construcción y de resolución (Fabre & Orange, 1997)

Il n'y a pas de problématisation si ne sont pas instaurés un autocontrôle de la pensée, une dialectique entre données et conditions du problème. Ce qui nécessite de concevoir une logique de recherche, centrée sur la construction de problème et pas seulement sur sa résolution (Fabre, 2009)

Por esta razón situaremos a los docentes en una actividad de construcción de problemas partiendo de la proposición de una situación abierta. Particularmente se trata de saber:

[QR1³⁶] ¿Cuáles son los elementos que dinamizan la actividad de los docentes orientados hacia la construcción de problemas?

[QR2] ¿Cómo los docentes reducen la indeterminación de una situación abierta para hacer de esta una situación problematizadora?

³⁶ Etiqueta mediante la cual se enumeran las preguntas de investigación en el presente trabajo.

2. Selección de un fenómeno físico apto para la construcción de problemas: el rebote de las esferas

Como lo podemos percibir a través de las reflexiones sobre la ciencia y los problemas científicos, los problemas adquieren formas particulares (objeto de cuestionamiento, modalidades de solución, etc.) en el contexto de las diferentes disciplinas. Una vez definido nuestro campo de estudio, que corresponde a las ciencias físicas, una delimitación del tema se hace necesaria, para avanzar en el camino de la solución de nuestras preguntas de investigación. Nuestro interés en el presente numeral, es delimitar nuestras preguntas de investigación al dominio de un saber con características particulares: el rebote de las esferas, cuya elección pretende ser justificada en los párrafos que siguen.

El rebote: alternativa para la formulación de enunciados con diferentes grados de abertura en el contexto escolar (Langlois et al, 1995)

En continuidad con los trabajos de Dumas- Carré y Gil- Perez (Dumas-Carré, 1987, (Dumas-Carré, Caillot, Martinez-Torregrosa, & Gil Perez 1989, Gil & Martinez Torregrosa, 1987, entre otros), basados en una crítica a los enunciados convencionales, los autores de este estudio³⁷ proponen una forma de comparación (en función de las finalidades percibidas y las actividades realizadas) entre la resolución de problemas a partir de enunciados abiertos (en diferentes grados) y enunciados cerrados. Estos últimos relacionados con los enunciados escolares “estándar” y los primeros introducidos con el fin de “situar a los alumnos lo más cerca posible de la situación del investigador” (p 180).

Específicamente, se ha examinado como los estudiantes resuelven problemas a partir de estos dos tipos de enunciados: los de primer tipo, “son enunciados que pueden encontrarse prácticamente en todos los manuales, bajo formas muy semejantes” (p 181). Estos se presentan como una referencia de comparación en cuanto a la resolución de enunciados de otros tipos.

Ej:

Un automóvil cuya masa es de 1200 kg, circula por una carretera rectilínea. Se supone que la fuerza F que se opone a su desplazamiento no varía más que con la velocidad v . La figura 1 presenta el gráfico de la función $v \rightarrow f$.

1. Cuál es la fuerza que se opone al desplazamiento del automóvil cuando $V=54$ km/h
2. La carretera es horizontal
 - a. ¿Cuáles son las fuerzas que actúan sobre el automóvil?
 - b. Calcular los trabajos de esas fuerzas para un desplazamiento de 1 km a la velocidad de 54 km/h

³⁷ “Influencia de la formulación del enunciado y del control didáctico sobre la actividad intelectual de los alumnos en la resolución de problemas”, Langlois F., Gréa J y Viard, J., Enseñanza de las ciencias, 1995, Vol 13 (2).

- c. Calcular la potencia de la fuerza motriz del automóvil circulando a 54 km/h
3. La carretera es una pendiente del 5% (para un recorrido de 100 m, el desnivel es de 5 m). Responder a las mismas preguntas a, b y c cuando el automóvil circula subiendo a lo largo de 1 km.

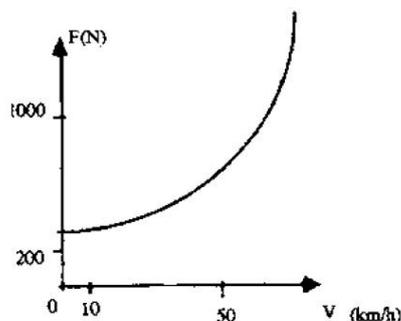


Figura 1 Problema “la”: El automóvil (Hatier Physique 1 S E, 1982 citado por Langlois et al, 1995)

Este enunciado corresponde, según los autores a un enunciado tipo “contrato” (p 180), empleando este término en el sentido de contrato didáctico (Brousseau, 1986/1998). De esta manera, el enunciado contemplaría “convenciones habituales implícitas” establecidas entre el docente y sus estudiantes. Estas convenciones son de diferentes tipos y tenderán a desaparecer en enunciados más abiertos como lo veremos más adelante. En cuanto a los resultados se puede señalar por ejemplo que el interés de los estudiantes radica en identificar el procedimiento tipo apropiado para resolver el problema y no la comprensión del fenómeno relacionado. Los estudiantes se muestran “convencidos de contar con todos los elementos para responder a las preguntas” (p. 184). El no resolver el problema, sería para los estudiantes signo de inhabilidad o incompetencia personal. Caso contrario del resto de los enunciados donde los estudiantes justifican la no resolución de un problema por la falta de conocimientos. Los autores señalan este fenómeno como “revelador de la presencia del contrato didáctico en los alumnos” (p 184).

Por otra parte, el tratamiento físico de estos problemas consiste en “enunciar un principio o una relación entre las magnitudes citadas por el enunciado o por el problema prototipo reconocido y relevante de la física enseñada” (p 184). La resolución del problema, consistiría en la aplicación de un procedimiento prototipo y la comprensión del enunciado estaría asociada a la identificación de este procedimiento. Pueden observarse por ejemplo el siguiente pasaje:

- *Es que no podemos decir que sea un cuerpo en caída libre y tú sabes que hemos aprendido a calcular la velocidad de un cuerpo en caída libre”(fragmento propuesto en la página 185).*

Los autores señalan, entre otras cosas, la aplicación de procedimientos de los cuales no podría asociarse una verdadera necesidad (o un cuestionamiento), lo que lleva a que estos procedimientos sean aplicados sin tener un pleno convencimiento de su pertinencia.

- *Diciendo que la suma de las fuerzas es igual a 0, y... ¿por qué quieres que sea igual a 0?... no sé, cuando haces que v sea igual a constante, cuando la velocidad es constante, no puedes tener que la suma de fuerzas es igual a 0. Bueno, probemos, pero no es seguro que funcione (fragmento propuesto en la página 185)*

Nuevos enunciados son propuestos a los estudiantes. Según los autores, estos no corresponderían al contrato didáctico, ya que se caracterizan, entre otras cosas, por no incluir datos a tratar (es decir, información en términos físicos y magnitudes físicas), y un cierto carácter de ambigüedad que le proporciona su naturaleza abierta. Adicionalmente se abre la posibilidad de la experimentación y un tiempo adicional (en un contexto extra-escolar). Este tipo de enunciados se divide a su vez en dos clases:

La primera, orientaba el estudio del rebote hacia el estudio de las propiedades de las diferentes esferas y los introducía al estudio del choque desde el punto de vista energético.

Se pretende comparar una de las propiedades que permiten distinguir las sustancias constituyentes de las bolas. Para ello, se estudian sus comportamientos respectivos mediante sus interacciones con el suelo. Se interpretará el fenómeno en términos de energía (p 191).

Estos problemas llevarían a los estudiantes a pensar espontáneamente en el trabajo experimental (caso contrario al contexto clásico), lo que jugaría un rol importante en la validación de conjeturas. Los elementos del enunciado conducirían de manera intuitiva al tratamiento de magnitudes físicas o estudio de fenómenos. El rol de la experiencia parece limitarse a una fuente importante de datos numéricos y la comprensión del problema parece asociarse más a la comprensión del enunciado (p 186).

Resultados conformes y no conformes a las conjeturas de los estudiantes pudieron observarse en la solución de este tipo de problema. En el primer caso el grupo implicado no se planteó ningún cuestionamiento sobre el fenómeno, en el segundo caso un replanteamiento de conjeturas se hizo necesario (p 186).

La segunda, aun más abierta, invitaba a los estudiantes a estudiar “la capacidad de rebote de una bola” examinando el primer rebote para luego predecir el comportamiento de otras esferas de materiales diferentes.

Disponemos de diversas bolas. ¿Cómo podréis caracterizar su capacidad de rebotar estudiando el primer rebote? Disponéis de otras bolas. ¿Qué predeciréis, siempre en el primer rebote, para esas bolas hechas de otra sustancia? (p 191).

Dentro del desarrollo emprendido por uno de los grupos se encuentra un procedimiento “directo”³⁸. Los autores asocian a esta forma de proceder el “paradigma subyacente de la existencia de invariantes de las que se podrían deducir leyes que se impondrán por sí mismas” (p 187). Este nuevo enunciado permite la creación de una nueva

³⁸ La identificación de un procedimiento prototipo se hace de forma inmediata

magnitud que dependería de magnitudes conocidas, entendida por los estudiantes como un coeficiente de proporcionalidad. El siguiente fragmento puede ejemplificar este propósito:

- *Lo que haría falta es partir de diferentes alturas, después se mide cada vez la altura [del rebote]; haremos un gráfico y después obtendremos una recta o algo así.*

Sin embargo, en las respuestas de los estudiantes los investigadores no encuentran una “explicación del fenómeno” o la atribución de un sentido a las construcciones realizadas (por ejemplo, la naturaleza de las curvas construidas a partir de los datos obtenidos). La aplicación de procedimientos prototipo daría cuenta así de una reproducción no reflexiva de un método o un aprendizaje.

Por otra parte, los estudiantes que no lograron culminar este procedimiento “directo” han visto su trabajo “perturbado por teorías incompatibles con su protocolo” (p. ej. un estudiante propone una explicación termodinámica que no tiene nada que ver con la estrategia experimental desarrollada [en mecánica] (p188))

Como una de las conclusiones de este trabajo se propone reflexionar sobre la necesidad de ir más allá de una simple reproducción de saberes, para revalorizar la verificación y potenciar la formulación y validación de conjeturas en las actividades escolares (p 188).

Los autores concluyen entre otras cosas, que no es suficiente con llevar a los estudiantes a un contexto experimental ya que allí también se puede observar la tendencia de reproducir procedimientos prototipo y la experimentación pasa a ser utilizada como un medio para completar información necesaria para cálculos matemáticos en detrimento de la formulación y validación de conjeturas. Los autores señalan que esta situación puede cambiar si los estudiantes se ven enfrentados a experimentaciones que les resulten “desconcertantes”. Una experimentación que no invalide totalmente los resultados permitiendo progresar al estudiante por etapas parece ser la más favorable. Actividades bajo esta modalidad requerirían un tiempo de realización mayor.

El rebote: evidencias históricas de enfoques diversos observables en la clase de física (basado en la investigación de Viard, 2003)

Basados en los estudios históricos relacionados con el tema, es posible observar las razones que llevan a proponer diferentes vías de solución de un problema, o que llevan a la construcción de diferentes problemas. Es así como (Viard, 2003), interesado en los argumentos históricos sobre el estudio del rebote de las esferas, muestra los problemas sobre el rebote, en el seno de la controversia de dos científicos del siglo XVII: Leibniz y Huygens. Este trabajo manifiesta la forma en cómo se generó esta controversia, abordando un mismo tema, pero no una misma pregunta.

Huygens, preocupado por la conservación de la energía pensaba que la dureza de un cuerpo era una condición necesaria en el rebote para dicha conservación. Los dos científicos aceptaban la conservación de la energía, pero Leibniz reprocharía a Huygens no considerar suficientemente la cuestión de la causa del rebote (p 34). Para

este científico, la idea un objeto “duro” no era coherente con las propiedades de un resorte (elástico) o de un cuerpo que rebota.

Sin embargo, señala el autor, los argumentos de Huygens no pretendían explicar por qué rebotan los cuerpos. La pregunta que conducía sus reflexiones se orientaba a responder cómo era posible esa conservación. La respuesta de Huygens antepondría la necesidad de conservación para decir que no es necesario que los cuerpos sean elásticos ya que la dureza puede ser admitida en una situación de conservación. Huygens evocaría de esta manera la condición de dureza necesaria para el rebote sucesivo al choque de los átomos, pero esta condición no sería aceptada por Leibniz. La conservación de la energía representaría para él una consecuencia de esa “aptitud” de rebotar y no una condición. El autor señala:

En d'autres termes, dans la problématique de Huygens, la conservation est posée a priori et la question de la cause du rebond, sans être ignorée, se situe en dehors de cette problématique, et plus largement comme le note Christiane Vilain (1993) : « La justification de ce qui se passe au moment du choc, le problème de la physique du choc » sont laissés de côté. Ces questions, nous l'avons vu, sont au contraire au centre de la problématique de Leibniz, et l'identification de la cause, l'élasticité de la matière permettra de justifier à la fois l'inversion de la direction de la vitesse et la conservation de la force vive en mettant en œuvre avant la lettre au moment du choc, une autre double transformation conservative d'énergie cinétique en énergie potentielle élastique et inversement

En ese orden de ideas, el desconocimiento de dicha controversia puede ocultar la confrontación de dos posturas teóricas que condicionan sus problemas (p 42). A partir de esta aproximación histórica, Viard se interesó en esclarecer las problemáticas o ejes de interés presentes en la argumentación de los estudiantes. El autor se preguntaba en particular si la cuestión de causalidad tiene vigencia estos razonamientos. Para tal fin, se presenta a estudiantes de secundaria bolas de diferentes materiales, que son identificadas por el docente como: dos bolas de plástico blando, una bola de plástico y un balón de acero. Se les ha pedido distinguir entre las sustancias que componen estas bolas considerando una de sus propiedades:

On veut comparer une des propriétés permettant la distinction des substances constituant des billes. Pour cela on étudier leurs comportements respectifs lors de leur interaction avec le sol [on pense au rebond]. On interprétera le phénomène en termes d'énergie (Gréa et al, 1995 cité par Langlois et al, 1995).

De esta manera se espera que los estudiantes relacionen una propiedad desconocida de la esfera con una propiedad de un fenómeno conocido: el rebote. Se prevé desarrollar esta tarea en tres etapas:

- Una fase de predicción antes de cualquier experimentación
- Una fase de experimentación
- Una fase de interpretación de los resultados de la experimentación

Antes de comenzar la primera fase los estudiantes deben apropiarse del problema. Según el investigador, el enunciado se muestra difícil de comprender. Luego de las explicaciones del docente, el enunciado es traducido como la asociación de una propiedad desconocida con la “aptitud del cuerpo para rebotar”. A partir de esta asociación se realizan predicciones de acuerdo al material de las esferas. Al final de esta primera fase los

estudiantes asocian la deformabilidad (propiedad desconocida) con la aptitud para rebotar (comportamiento en el rebote).

En la segunda fase, que es la fase de experimentación, los estudiantes comparan las alturas del rebote (de caída y del primer rebote) de cada esfera, dejándola caer desde una misma altura. Los resultados se muestran contradictorios a sus predicciones. En particular, una bola de plástico blando no rebota y el balón de acero, alcanza una altura de rebote muy cercana a su altura inicial. Se observa en los argumentos de los estudiantes un cambio:

- *Donc, moins le système est déformable, moins il y a de perte d'énergie !*³⁹

Es así como la indeformabilidad (propiedad desconocida) se convierte ahora en una condición para el rebote de las esferas, lo que es totalmente contrario a la fase de predicción. Sin embargo, señala Viard, esto no parece generar en los estudiantes un sentimiento de contradicción.

El autor interpreta este resultado como sigue:

En la fase de predicción se presenta “la constitución de una cadena causal” (p 48, nuestra traducción) en donde el primer evento será la causa del siguiente:

1. Caída y choque
2. Deformación elástica
3. Recuperación de la forma inicial y rebote.

La conservación de la forma inicial representa en esta fase el producto de esta secuencia.

Sin embargo, al confrontarse con los resultados contradictorios de la fase de experimentación, los estudiantes modifican el orden, consideran primero la conservación del movimiento y luego reflexionan sobre las condiciones para que esa conservación sea posible, es en ese punto donde aparecería la dureza. Finalmente se cuestionan sobre las causas de la degradación de la energía donde es asociada la deformación. El autor señala que los estudiantes pueden llegar a conclusiones como la siguiente:

- *On est arrivé à plus la bille est dure et plus elle monte haut*⁴⁰

(Viard, 2003), sugiere, entre otras cosas, que es posible establecer relaciones de dependencia en física, entre las propiedades de los cuerpos, sin recurrir a la medición y mediante una cuantificación explícita de las magnitudes físicas (p 53). Así mismo, reconoce en la historia de la física una ayuda valiosa para entender las interpretaciones de los estudiantes, ya que estas proporcionan perspectivas difícilmente perceptibles con el estudio aislado del saber de referencia.

³⁹ Fragmento propuesto en el artículo de Viard, 2003, pag 48.

⁴⁰ Fragmento extraído de la Tesis de Djama Ismaël-Youssof (1999, 204), presentado en la pagina 52 por Viard, 2003.

En ese orden de ideas, se identifica en las actividades desarrolladas por los estudiantes problemáticas alrededor de dos ejes; la búsqueda de invariantes o cantidades conservadas y el segundo en torno a la búsqueda de una explicación causal del fenómeno observado (inscritos los dos dentro de la lógica de Huygens y Leibniz respectivamente).

El análisis de los dos trabajos anteriores nos lleva a una segunda delimitación de la problemática de nuestra investigación, que se inscribe en el estudio de un fenómeno particular.

Segunda delimitación de la problemática de investigación

Los estudios comentados anteriormente nos proporcionan elementos de juicio para considerar la introducción del estudio del rebote de las esferas en el contexto escolar, este visto como una posibilidad para la construcción de problemas a partir de situaciones indeterminadas en el sentido en que lo plantea Dewey.

Ahora bien, el estudio de rebote en el marco escolar muestra una diversidad de aproximaciones en el campo de la física, que se confirma igualmente en el estudio de la formación de las ideas a lo largo de la historia de la ciencia.

En el primer caso, los autores observan a lo largo de los diferentes tipos de enunciado la presencia del contrato didáctico que lleva en ocasiones a los estudiantes a resoluciones carentes de sentido personal. Hemos visto la apropiación del problema, especialmente en el marco experimental en la abertura de los enunciados y también la tendencia al ensayo y al error.

En el segundo caso, el autor muestra a través de evidencias históricas, que el rebote de las esferas puede ser objeto de cuestionamientos de diversos tipos en función del marco teórico preferido por aquel que soluciona el problema. Esto ha sido observado tanto en la historia de las ciencias, en reflexiones de los científicos en el siglo XVII (Huyguens y Leibniz), como en el pensamiento de los estudiantes de secundaria en el contexto de una clase de física.

Por otra parte, se destaca como un elemento común, las situaciones desconcertantes como elementos favorables al cuestionamiento personal (resultados experimentales contradictorios a predicciones previas sobre el rebote) y la forma en cómo las reflexiones personales perfilan los posibles aprendizajes (si se parte de la necesidad de la conservación de la energía o de la necesidad de una explicación causal).

Finalmente, en el contexto del currículo escolar, una lectura de los criterios mínimos en términos de conocimientos físicos establecidos en el marco colombiano y de las progresiones temáticas en el programa francés, permitirá constatar que el estudio del rebote de las esferas no es en general un tema estudiado en las clases de física colombiana y francesa. El estudio del este tema favorecería así a la instauración de una situación con carácter indeterminado.

En ese orden de ideas, nos parece pertinente en este momento de la discusión, precisar nuestras preguntas de investigación, inscribiéndolas en el contexto del estudio del fenómeno físico del rebote de las esferas. De esta manera nuestro cuestionamiento se define como sigue:

[QR1] ¿Cuáles son los elementos que dinamizan la actividad de los docentes orientados hacia la construcción de problemas en el contexto de estudio del rebote de las esferas?

[QR2] ¿Cómo los docentes reducen la indeterminación de una situación abierta referente al rebote de las esferas, para hacer de esta una situación problematizadora?

3. El rebote: análisis de contenido

Nuestro interés radica en incentivar la problematización en el contexto de una situación abierta cuya determinación se haga de forma progresiva. En este sentido, un amplio espectro de temáticas puede ser tratado en torno al fenómeno físico del rebote. No será posible en el marco de este trabajo explotar todas las posibilidades de estudio acerca de los conocimientos en física accesibles mediante el análisis de este fenómeno. Para delimitar este estudio, tendremos en cuenta que la problematización deseada se concibe en un contexto de formación docente, con elementos físicos y conceptuales que, en general, serán propios del saber científico escolar. La descripción del medio concebido para una formación como tal será descrita más adelante (ver descripción del medio didáctico). La discusión de este numeral busca una aproximación a los posibles conocimientos por construir en el plano de planteamiento de problemas. Se otorgarán aquí algunos elementos para la comprensión del producto del trabajo que presentarán los profesores en cuanto al campo disciplinar.

De esta manera, el análisis que presentaremos a continuación tendrá en cuenta las condiciones materiales, concebidas en el marco de una formación docente.

Definición del rebote

El rebote, tal y como es definido en referencias lexicales como TLFi⁴¹ se entiende como “el movimiento no amortiguado que realiza la esfera, el balón, etc., después de haber encontrado un obstáculo o tocado tierra”. Esta definición del rebote como un movimiento nos llevará a estudiar en principio (como en los trabajos de Langlois et al, 1995 y Viard, 2003) el fenómeno desde el punto de vista de la mecánica clásica. El estudio de este a través de otras ramas también será evocado.

En este orden de ideas, puede esperarse en términos de las posibilidades de medición, el estudio de la trayectoria, la posición de la esfera en función del tiempo, de la velocidad (media o instantánea) y hasta de su aceleración. Debido al contexto de formación en beneficio de una clase científica, hemos considerado para el

⁴¹ Le Trésor de la Langue Française Informatisé <http://atilf.atilf.fr/>

estudio del rebote (desde una perspectiva experimental), instrumentos de medición apropiados para un salón de clase. La situación así concebida puede incitar en más fácilmente a la medición de magnitudes como la masa, la altura, el tiempo y muy difícilmente a la medición de magnitudes como la elasticidad, la temperatura de las superficies, fuerzas de rozamiento, etc.

Condiciones iniciales y primera reducción del problema

El rebote puede variar según si la esfera se suelta (condición de caída libre, $v_{\text{inicial}}=0$) o se lanza (condición de movimiento con una $v_{\text{inicial}} \neq 0$)

Para comenzar, abordaremos el estudio en una forma simple, considerando que el cuerpo (la esfera) parte del reposo desde una altura determinada. Supondremos la caída de la esfera hacia un plano horizontal al plano terrestre, también que la esfera describe únicamente movimientos de translación. Nos limitaremos a estudiar la trayectoria de su centro de gravedad. Esto permite limitar las posibles trayectorias iniciales (p. ej. movimiento parabólico) al caso más simple de trayectoria rectilínea donde la esfera va y viene en dirección vertical (Figura 2).

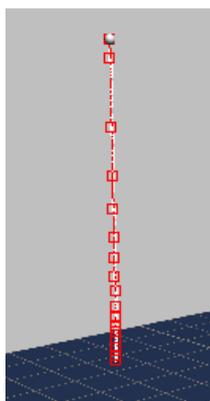


Figura 2. Rebote en trayectoria rectilínea⁴².

En ese contexto, durante la primera fase, o **fase de caída libre** al suponer las fuerzas de fricción despreciables, la única fuerza que actúa sobre la esfera en el transcurso de su movimiento es el peso⁴³. Esta fuerza se deriva de un potencial y la energía mecánica se conserva a lo largo del movimiento. Las convenciones que utilizaremos aquí son: $E_p = 0$ (Energía Potencial) al nivel del suelo, z como la altura del centro de gravedad y g como la aceleración gravitacional, m como la masa de la esfera y v como su velocidad instantánea. La conservación de la energía mecánica se escribe:

⁴² Imagen tomada de :

<http://docs.autodesk.com/MAXDES/14/FRA/Autodesk%203ds%20Max%20Design%202012%20Tutorials/index.html?url=files/GUID-276E8B76-5EC3-47F5-B8F4-88D67E99261-49.htm,topicNumber=d28e11505> .Consultado en junio 2014.

⁴³ Consideramos en este contexto, esferas de masa suficiente para dominar el efecto de la posible intervención de otras fuerzas (fricción, fuerza de empuje, etc)

$$E_m = E_p + E_c = mgz + \frac{1}{2} m v^2 = \text{constante}$$

Ecuación 1 conservación de la energía mecánica en la fase de caída

La Ecuación 1 permite conocer la velocidad de la esfera en cada instante (si se conoce la altura z). Si nos limitamos al caso de la caída libre (velocidad inicial nula), inicialmente la energía mecánica se presenta como energía potencial en su totalidad. Por el contrario, justo en el momento anterior al choque la energía potencial es nula (ya que la altura es cero) y la energía mecánica se presenta como energía cinética en su totalidad. Si denominamos z_0 la altura inicial y v_0 la velocidad en el momento justo antes del choque, se tiene:

$$mgz_0 + 0 = 0 + \frac{1}{2} m v_0^2$$

Ecuación 2 Equivalencia de la energía mecánica de la esfera en la posición de altura inicial y justo antes de choque

La Ecuación 2 conduce inmediatamente a:

$$v_0 = \sqrt{2gz_0}$$

Ecuación 3 Determinación de la velocidad de la esfera justo antes del choque

Nótese que **la velocidad justo antes del choque solo depende de la altura inicial (z_0) de la esfera y no de la masa (m) de la misma**. Esto se debe a que la masa (m) aparece a la vez en la energía potencial (como masa gravitacional) y en la energía cinética (como masa inercial), por lo tanto esta magnitud se simplifica. Este resultado se muestra contra-intuitivo ya que algunos estudiantes piensan por ejemplo que la aceleración depende de la masa del cuerpo (ver por ejemplo Hernández et al 2008 o Kavanagh & Sneider, 2007). Esto sin duda porque esta relación no es válida si las fuerzas de rozamiento no pueden ser despreciadas (por ejemplo en el caso de una esfera muy ligera). Evidentemente las fuerzas de rozamiento no podrán despreciarse completamente pero su efecto puede no ser tenido en cuenta si el grado de precisión de los instrumentos de medición no permite determinarlas.

De la misma manera, puede estudiarse en esta fase la relación entre el tiempo de caída (t_0) y la altura de caída. Esta relación puede despejarse de las ecuaciones de movimiento acelerado de lo cual se obtiene que

$$t_0 = \sqrt{\frac{2z_0}{g}}$$

Ecuación 4 Determinación del tiempo de caída de la esfera

Allí se observa que **el tiempo de caída no se relaciona con la masa de la esfera**.

Antes de pasar a la fase del choque, consideremos que la esfera no se deja simplemente caer sino que es lanzada con una velocidad inicial.

Imaginemos por ejemplo que se realiza un lanzamiento vertical a lo largo de una distancia d (y luego se suelta a una altura z_0 del suelo) y que antes de soltarla el lanzador ejerce una fuerza constante \vec{f} sobre la esfera. En el transcurso de lanzamiento, la esfera es sometida simultáneamente a la fuerza \vec{f} y a su propio peso, que denominaremos \vec{P} . Según el teorema de la energía cinética se tiene:

$$W_{\vec{f}} + W_{\vec{P}} = \Delta E_C$$

Ecuación 5. Cálculo de la variación de la energía cinética en función de la sumatoria de trabajos sobre la esfera

Donde:

$$mgd + fd = \frac{1}{2}mv_i^2$$

Ecuación 6. Relación entre la norma de la fuerza del lanzador y la norma de la velocidad adquirida por la esfera

Existe así, una relación entre la velocidad de lanzamiento v_i (adquirida por la esfera en el instante en que se separa de la mano del lanzador), y la fuerza aplicada por el lanzador sobre la esfera mientras recorre la distancia d (durante el contacto mano - esfera). Evidentemente, esta fuerza deja de actuar en el momento en que la esfera se separa de la mano del lanzador.

La esfera adquiere una determinada velocidad encontrándose a una distancia z_0 del suelo. No obstante, su trayectoria y la evolución de su velocidad pueden estudiarse como en el caso anterior, como si no se tratara de una altura inicial z_0 sino de una altura z'_0 que se expresa de la forma $z'_0 = z_0 + \frac{v_i^2}{2g}$, sin velocidad inicial.

Fase del choque

En el estudio físico del choque se suele utilizar el sistema de referencia del centro de masa de los cuerpos en colisión y establecer la ecuación de la conservación de la cantidad de movimiento total. Luego, se puede considerar o no la conservación de la energía cinética total, según si se trata de un choque elástico o inelástico. En nuestro caso: el estudio del choque de una esfera con la Tierra, un observador dado, sin una reflexión previa, tendrá la tendencia a ubicarse en un sistema de referencia asociado a la tierra y no verá la conservación de la cantidad de movimiento: en un referencial asociado a la Tierra, la velocidad de la tierra es nula en permanencia y la velocidad de la esfera cambia de sentido y hasta de dirección si eventualmente la trayectoria no es exclusivamente vertical. En un sistema de referencia inercial la cantidad de movimiento de estas colisiones se conserva pero no necesariamente la energía cinética (asociada a la esfera) ya que durante el choque, una parte de la energía puede ser disipada. En este caso, se habla de choque inelástico.

En el caso contrario, cuando el choque es elástico, nuestro observador, que estima las velocidades de acuerdo al sistema de referencia de la Tierra, podrá identificar la conservación de la energía cinética de la esfera (y en consecuencia la norma de la velocidad). En efecto, es posible mostrar⁴⁴ que para un choque elástico la energía cinética de la esfera sola (y de hecho de la Tierra sola) se conserva tanto en el sistema de referencia del centro de masas (que es inercial) como en el sistema de referencia de la Tierra (que puede estimarse como no inercial).

⁴⁴ Argumentos que justifican la conservación de la energía cinética en el sistema de referencia de la Tierra, aun cuando este no es un sistema de referencia inercial:

El tratamiento del choque se realiza generalmente en el sistema de referencia del centro de masas, o por lo menos en un sistema de referencia inercial y se considera el sistema físico conformado por dos cuerpos que se ponen en contacto. En la situación que nos interesa, se considera el sistema esfera – Tierra y no el sistema de la esfera sola como lo hicimos en el caso de caída libre. Al ubicarse provisionalmente en el sistema del centro de masas, se designa M como la masa de la Tierra, m la masa de la esfera. \vec{U} y \vec{U}' como las velocidades de la Tierra justo antes y después del choque (en el sistema de referencia del centro de masas), \vec{u} y \vec{u}' como las velocidades de la esfera justo antes y después del choque (en el mismo sistema de referencia). Por definición, la cantidad de movimiento **antes del choque** se escribe

$$M\vec{U} + m\vec{u} = (M + m)\vec{u}_G$$

Donde \vec{u}_G es la velocidad del centro de masa. \vec{u}_G es entonces nula respecto a su propio sistema de referencia, lo que conduce a $M\vec{U} = -m\vec{u}$

Por otra parte, si el sistema esfera-tierra ($m + M$) es aislado, la cantidad de movimiento total se conserva **a lo largo del choque**

$$M\vec{U} + m\vec{u} = M\vec{U}' + m\vec{u}'$$

Se tiene entonces que **después del choque** $\vec{u}'_G = \vec{u}_G = 0$, lo que implica que $M\vec{U}' = -m\vec{u}'$. Esta ecuación que se deriva de la conservación de la cantidad de movimiento es siempre válida (bajo la condición de que se pueda considerar el sistema total como un sistema aislado)

La siguiente relación concierne a la energía cinética.

Hemos elegido interesarnos por el caso elástico, donde la energía cinética total se conserva (en un sistema de referencia inercial). Se tiene entonces:

$$E_c = \frac{1}{2}MU^2 + \frac{1}{2}mu^2 = E'_c = \frac{1}{2}MU'^2 + \frac{1}{2}mu'^2$$

De las ecuaciones anteriores se puede deducir que $U^2 \left(M + \frac{M^2}{m} \right) = U'^2 \left(M + \frac{M^2}{m} \right)$,

por lo que $U^2 = U'^2$ y consecuentemente $u^2 = u'^2$. Estas ecuaciones muestran la conservación de la norma de la velocidad, pero no nos indican nada sobre su dirección.

Estudiemos ahora la situación para el sistema de referencia asociado a la Tierra. Denominaremos respectivamente \vec{V} , \vec{v} y \vec{v}_G las velocidades de la Tierra, la esfera y el centro de masas en ese sistema de referencia y \vec{V}' , \vec{v}' y \vec{v}'_G

En el contexto de este sistema de referencia $\vec{V} = \vec{0} = \vec{V}'$. Entonces $M\vec{V} + m\vec{v} = m\vec{v} = (m + M)v_G$, lo que lleva a: $\vec{v} = \frac{(M+m)}{m}\vec{v}_G$

Por otra parte, recurriendo a la composición de velocidades se obtiene que $\vec{V} = \vec{v}_G + \vec{U}$, en coherencia con lo anterior $v_G = -\vec{U}$.

De las dos ecuaciones anteriores se obtiene que $\vec{v} = -\frac{(M+m)}{m}\vec{U}$; para el caso después choque la ecuación es similar, se tiene así $\vec{v}' = -\frac{(M+m)}{m}\vec{U}'$

Se tiene entonces que para un choque elástico, como $U^2 = U'^2$ se dice también que $v^2 = v'^2$ (las velocidades de la tierra son iguales antes y después del choque). Dicho de otra manera, la energía cinética de la esfera sola (o de la tierra sola) se conserva estrictamente tanto en el sistema de referencia del centro de masas (que es inercial) como en el sistema de referencia de la Tierra (que puede considerarse como no inercial)

Por un choque elástico, si denominamos v_1 la velocidad de la esfera justo después del choque (en el sistema de referencia asociado a la Tierra), se tiene que $v_1 = v_0$. En este caso se observa que la energía mecánica total también se conserva (en efecto, la energía potencial gravitacional antes y después del choque es la misma ya que la esfera se encuentra siempre a una altura $z = 0$). La esfera ascenderá con la misma energía mecánica que tenía al tocar el suelo, y alcanzará de nuevo la altura de caída inicial (despreciando, también en este caso, la fuerza de fricción del aire). Se observará entonces una serie infinita de rebotes a la misma altura (Figura 3). Esta situación no es muy realista, pero es posible que sea considerada por los docentes por su condición de caso ideal.

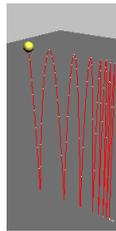


Figura 3 Rebote de una esfera en el caso de choque elástico (conservación de la energía)⁴⁵

Por otra parte, en el caso del choque inelástico la energía cinética de la esfera no se conserva lo largo del choque, una parte de esta se convierte en energía interna, al menos para uno de los dos cuerpos.

En ese orden de ideas, se puede definir el coeficiente de restitución e como la relación entre la velocidad restituida a la esfera justo después del choque v_1 y la velocidad justo antes del choque v_0 , así:

$$e = \frac{v_1}{v_0}$$

Ecuación 7. Cálculo del coeficiente de restitución “e” mediante la relación entre las velocidades justo antes y justo después del choque

Este coeficiente fue introducido por Isaac Newton. En su obra *Los principios matemáticos de la filosofía natural* (1686/1759), sin hacer una alusión explícita al coeficiente de restitución, Newton reporta algunos de estos coeficientes obtenidos experimentalmente con péndulos, contruidos con esferas de diferentes materiales. De esta manera Newton encuentra por ejemplo, que para pelotas de lana la relación entre las velocidades luego de hacerlas chocar es 5/6. Por su parte, las esferas de vidrio, son un ejemplo de restitución casi total de la velocidad en lo que él llama “la reflexión” de los péndulos (15/16). (Isaac Newton, “*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*”, traducido al francés por Madame La Marquise du Chastellet, Paris 1759). La evaluación analítica de estos valores se complejiza rápidamente, aun en el caso de la geometría simple⁴⁶

⁴⁵ Imagen tomada de:

<http://docs.autodesk.com/MAXDES/14/FRA/Autodesk%20ds%20Max%20Design%202012%20Tutorials/index.html?url=files/GUID-276E8B76-5EC3-47F5-B8F4-88D67E99261-49.htm,topicNumber=d28e11505>. Sitio consultado el 30 junio 2014.

⁴⁶ Ver por ejemplo Acary & Brogliato, (2004), “*Coefficients de restitution et effort aux impacts. Revue et comparaison des estimations analytiques* » en : <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/07/06/02/PDF/RR-5401.pdf>. Consultado el 10 septiembre 2014.

Desde el punto de vista de las fuerzas, la modificación de la dirección de la velocidad de la esfera (en el sistema de referencia terrestre), se debe a la reacción del suelo sobre la esfera. Hemos considerado que en el momento del contacto con el suelo, el centro de masa de la esfera posee una velocidad de v_0 y que esta dejaba el suelo con una velocidad v_1 de sentido opuesto tal que $v_1 = e \cdot v_0$ con $e \leq 1$ (siendo $e = 1$ para el caso perfectamente elástico). Como la variación de velocidad es en realidad continua, el cambio de dirección implica que en un instante dado la velocidad del centro de gravedad de la esfera se reduce a cero.

En un modelo simplificado, despreciando la intervención de otras posibles fuerzas (p. ej. fuerzas de fricción) Designaremos Δt la duración comprendida entre el momento en que la esfera toca el suelo y aquel en el que la velocidad es igual a cero. En ese contexto podría estimarse el orden de magnitud de esta reacción de la siguiente manera:

$$\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \frac{\vec{0} - m\vec{v}_0}{\Delta t} = \vec{P} + \vec{R}$$

Ecuación 8. Aproximación a la expresión de variación de momento lineal mediante la intervención del peso y la fuerza de reacción

De donde, \vec{P} es el peso de la esfera y \vec{R} es la fuerza ejercida por el plano sobre la esfera. Por lo que:

$$\vec{R} = \vec{P} - \frac{mv_0}{\Delta t}$$

De esta manera \vec{R} estaría dirigida hacia arriba y su norma sería superior a \vec{P} .⁴⁷

Fase del rebote

Como lo evocábamos anteriormente, la fase del rebote propiamente dicho, es equivalente a la primera fase o fase de caída. La única diferencia reside en las condiciones iniciales: altura de la esfera $z = 0$, velocidad de la esfera v_1 dirigida hacia arriba. Durante esta fase, nuevamente, la energía mecánica se conserva. De esta manera se obtienen relaciones equivalentes a aquellas encontradas en la fase de caída entre la altura máxima z_1 luego del choque y la velocidad:

$$v_1 = \sqrt{2gz_1}$$

Ecuación 9. Calculo de la velocidad justo después del choque y la altura máxima alcanzada por la esfera

y entre el tiempo de ascenso t_1 y la altura z_1 :

⁴⁷ Otras variables pueden igualmente tenerse en cuenta, como por ejemplo, la fuerza elástica proporcional al desplazamiento del centro de masa de su posición de equilibrio, la fuerza de rozamiento, proporcional a la velocidad del centro de masa, etc. (ver por ejemplo: "un modelo para el coeficiente de restitución" en http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/teoria/A_Franco/cinematica/restitucion/restitucion.htm). Estos factores podrían modificar las proporciones del cálculo anterior. No obstante, nos apoyaremos en esta primera aproximación, ya que en el nuestro contexto experimental concebido para esta investigación, la estimación de este tipo de influencias no será perceptible a través de los instrumentos de medición propuestos.

$$t_1 = \sqrt{\frac{2z_1}{g}}$$

Ecuación 10 Cálculo del tiempo de ascenso

Observaciones

De los tratamientos anteriores podemos observar que el coeficiente de restitución que relaciona v_1 y v_0 , permite de la misma manera relacionar las alturas, los periodos de tiempo y hasta las energías mecánicas totales antes y después del choque.

$$e = \frac{v_1}{v_0} = \sqrt{\frac{z_1}{z_0}} = \frac{t_1}{t_0} = \sqrt{\frac{E_1}{E_0}}$$

Ecuación 11 Cálculo del coeficiente de restitución a través de diferentes magnitudes físicas

Si se consideran varios rebotes sucesivos de una misma esfera, el coeficiente de restitución se conserva y la velocidad de la esfera luego del n-ésimo rebote, está dada por

$$v_n = e^n v_0$$

Ecuación 12. Relación entre velocidades sucesivas (antes y después de un choque)

De la misma forma la altura máxima alcanzada por la esfera después del n-ésimo rebote está dada por:

$$h_n = e^{2n} h_0$$

Ecuación 13. Relación entre alturas sucesivas (antes y después del choque)

El coeficiente de restitución representa la proporción de la energía cinética que conserva la esfera durante el choque. Uno de los intereses de calcular el coeficiente de restitución radica en encontrar una relación constante reflejo de una variación regular de transferencia de energía (ya sea para el caso de los múltiples rebotes de una esfera o el caso del rebote de múltiples esferas)

PARTE 2: Metodología de nuestro trabajo de campo para la construcción de problemas sobre el rebote de las esferas y de una modalidad de análisis

1. La actividad de problematización: un marco teórico para la instalación y el estudio de interacciones conducentes a la construcción de un problema.

Para el estudio de la construcción de problemas hemos adoptado esencialmente el marco teórico de la actividad de problematización⁴⁸ tal como lo define el equipo del Centre de Recherche en Éducation de Nantes (CREN)⁴⁹. En particular nos referimos a los trabajos de la disciplina Ciencias de la Vida y de la Tierra (Crépin-Obert, 2010; Lhoste, 2008; Orange, 2003) que ofrecen la posibilidad de analizar interacciones verbales entre sujetos y su confrontación con la experiencia. Iniciaremos la descripción de este marco teórico, con fundamentos que permitan comprender su punto de vista sobre la construcción de problemas y su relación con la construcción del conocimiento científico. La aclaración de algunos términos propios de esta teoría será necesaria para establecer los criterios para juzgar dicha construcción así como las diferencias entre el conocimiento común y el conocimiento científico. La parte final de esta descripción pretende situar y posiblemente delimitar de forma breve los intereses trazados para nuestra investigación a partir de la apropiación de este marco teórico como parte de nuestra metodología de investigación.

La actividad de problematización se remite al conjunto de procesos emprendidos para la construcción del conocimiento científico. Basándose en una tradición esencialmente racionalista, se concibe un proceso cognitivo de determinación progresiva que otorga el acceso al conocimiento científico (Beorchia, 2005; Lhoste, 2008). Siguiendo los fundamentos de Bachelard, este acceso sólo es posible por el abandono del conocimiento común (Bachelard, 1938). Dicho esto se estipula que:

Faire des sciences c'est donc abandonner une connaissance d'opinion, une connaissance mal questionnée, assertorique, c'est à dire réduite à un simple constat, pour une connaissance qui, une fois problématisée, sera fondée en raison, deviendra apodictique (Fabre & Orange, 1997) (p 40)

Es decir, se considera la construcción del saber científico como el acceso a las condiciones necesarias para la adopción de explicaciones posibles a partir del cuestionamiento. De este conjunto de opciones o "posibles" serán elegidas aquellas que superen una situación de problematización (objeciones, contradicciones, etc.) probando así su condición de "necesidad" frente a otras cuya existencia no puede ser válida en el contexto dado.

⁴⁸ El marco teórico elegido para desarrollar nuestra metodología y análisis de datos corresponde a un marco teórico de origen francés. Dada la poca difusión de este marco teórico en la comunidad de habla hispana que correspondiente en todo caso al área de las ciencias sociales (Le Marec, 2009), para la redacción de esta sección utilizaremos nuestra propia traducción de la terminología específica.

⁴⁹ Centro de investigación en educación de Nantes (Nantes, Francia): <http://www.cren.univ-nantes.fr/>

Para que los enunciados propuestos sean estimados “necesidades”, es indispensable una articulación de evidencias empíricas constatadas experimentalmente o convocadas artificialmente por el pensamiento (registro empírico) con enunciados de naturaleza teórica (registro teórico o registro de modelos). La actividad de la problematización estudia el proceso por el cual se otorgan las condiciones de posibilidad de los enunciados y en particular la forma en cómo llegan a ser catalogados como necesarios:

Connaître c'est moins buter contre un réel que valider un possible en le rendant nécessaire. Dès lors, la genèse du possible importe autant que la démonstration du nécessaire (Canguilhem, 1965)(p 58)

Con el ánimo de valorar los criterios de posibilidad o necesidad de un enunciado, se recurre a la descripción de su transición (no necesariamente lineal o cronológica) de un carácter “condicionante” (*contrainte*) a un carácter “necesario” (*nécessité*). (Lhoste & Peterfalvi, 2009), explican que esta dualidad (condicionante-necesidad), que representa una segunda partición para la problematización⁵⁰, da cuenta de aquello que pertenece a campo asertorio: “lo que es así” y aquello que pertenece al campo apodíctico: necesariamente válido. Dicho esto, cada uno de los elementos condicionante o necesidad pueden ser de carácter empírico o de carácter teórico.

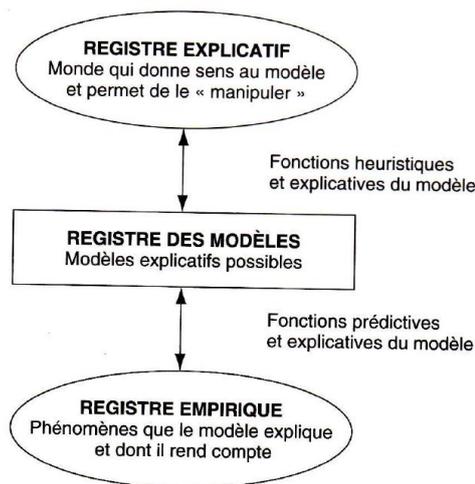
Con el fin de comprender, desde una perspectiva didáctica, las explicaciones elaboradas por el sujeto, se procede a la elaboración de “modelos”⁵¹ de esas explicaciones, donde se evidencia la articulación del dominio empírico (Registro Empírico) y del dominio teórico (Registro de Modelos). Es así como se manifiesta:

Selon cette définition [de modélisation en tant que construction], modéliser c'est mettre en relation deux champs, le registre empirique où on organise les phénomènes à expliquer, et le registre de modèles où s'établit la construction qui s'explique (Orange, 2006 p 76)

Por otra parte, el “registro explicativo” o registro dentro el cual el sujeto elabora sus explicaciones, justifica las particularidades o connotaciones de una construcción; allí intervienen, entre otras cosas, diferentes concepciones (pero también explicaciones del cotidiano, escolares, etc) y diferentes formas de relaciones. El registro explicativo completaría los elementos básicos de una primera modelización en la problematización (Esquema 1)

⁵⁰ Una primera partición corresponde a: registro empírico - registro teórico (o de modelos).

⁵¹ Se entiende modelo, en este contexto, como la descripción de las explicaciones de los fenómenos concernientes especialmente a las ciencias Biológicas o Ciencias de la vida y de la Tierra. Cuyos problemas no depende necesariamente de las relaciones matemáticas sino de modelizaciones de otro tipo.



Esquema 1. La modelización como una construcción de explicaciones, Orange C 1994 presentado en Orange 2006 (p 77)

La problematización se interesa en las concepciones (ideas previas) en el aprendizaje pero no se limita a la transformación de estas concepciones. Estas transformaciones son complejas y difícilmente inmediatas (Fabre & Orange, 1997). (Orange & Orange, 1993) sugieren diferentes tipos de transformaciones o “rupturas” posibles en el contexto de la problematización: una ruptura en la que las concepciones son cuestionadas (se enfrentan a anomalías) y otra en donde las situaciones sean normales (en el campo de validez de una ciencia “normal”), en este último caso no se pretende transformar las explicaciones existentes, sino ampliar su campo de validez. Una perspectiva un poco más amplia es presentada por Fabre & Orange (1997), quienes distinguen 3 formas de ruptura en las explicaciones de los estudiantes, a saber:

En el primer tipo, “ruptura metafísica, el “registro explicativo”, mediante el cual el sujeto construye sus explicaciones, no coincide con el registro en que se espera que las explicaciones sean construidas. “La représentation du problème à construire est totalement étrangère à la représentation spontanée des élèves” (p 52). Es por esto que es conveniente estimular un cambio en el registro explicativo del sujeto. Esto implica frecuentemente cambiar sus concepciones.

Por ejemplo, en los trabajos realizados por (Crépin-Obert, 2010), el problema de la construcción de fósiles discutido mediante el debate por estudiantes de primaria (CM1) pone de manifiesto la movilización del registro explicativo “catastrofismo”. Esta lógica o forma de razonamiento mantiene a los estudiantes que la utilizan al margen del debate sobre la pregunta: “¿Los fósiles son fabricados por los hombres de la pre-historia?” que se desarrolla esencialmente bajo otros registros como el “antropocentrismo o artificialismo” o aquel del “ser vivo formado naturalmente” (ibid, p 125). La discusión bajo el registro “catastrofista” parece infructuosa con respecto a los otros registros explicativos. Un cambio de registro parece indispensable para integrar los estudiantes a problematización diseñada en ese contexto, esto requiere de un proceso largo que involucra probablemente el contacto frecuente con ese otro registro explicativo (Fabre & Orange, 1997).

Un segundo tipo, “ruptura del desarrollo o del razonamiento”, permitiría extender el razonamiento inicial a un dominio más complejo, por ejemplo, a uno que tenga en cuenta un mayor número de variables. No se trata en

este caso de un cambio de registro explicativo sino de una profundización en el propio para concientizar a los estudiantes de los límites de validez de sus concepciones.

Por ejemplo, en el caso de la problematización sobre el volcanismo de las zonas de subducción para los estudiantes de *Première S* (K-11) (Orange & Orange, 1993), frente a la pregunta ¿A partir de qué y cómo se forma el magma que alimenta los volcanes de las zonas de subducción?, los estudiantes deberán pasar de una explicación que solamente se basa en la temperatura, a una explicación que tiene en cuenta la intervención de otros factores (temperatura, presión total, presión de agua) (Fabre & Orange, 1997, p 50)

El tercer tipo de ruptura, la “ruptura simple”, consiste en ampliar el espectro de problematización, es decir, que el estudiante extienda el campo de “posibles” para estimular el surgimiento y reconocimiento de necesidades, siendo estas signo de la construcción de un saber científico. Para ello se utiliza como vía alternativa: “*faire construire aux élèves des raisons en argumentant et en faisant émerger des nécessités*”⁵² (Orange, 1999 citado por Crépin-Obert, 2010).

Un ejemplo puede encontrarse en los trabajos de (Beorchia, 2005) en el marco del estudio del comando nervioso para el movimiento de los brazos. Se trata de la problematización efectuada por dos estudiantes. En la explicación de Romain (el primer estudiante), los “mensajes” provenientes del cerebro son comunicados mediante un nervio ubicado dentro del músculo y esto hace que se contraiga”. En lo que respecta a Kevin (el segundo estudiante), Beorchia manifiesta:

« Le problème perçu par Kevin est exprimé dans sa question qui contient une partie de l'explication de Romain («ils vont qu'à un seul muscle) et implicitement une objection (pourtant ça devrait aller aux deux muscles) (...) Romain, lui n'a pas perçu ce problème. Ce n'est que par la suite, en relation avec les questions posées par l'enseignant et d'autres élèves que son argumentation évolue et que l'on peut dire qu'il y a pour lui une prise de conscience du problème car identifiable dans ses propos » (ibid. p 140)

La autora expresa que a pesar de que la problematización de Romain y Kevin pertenecen a diferentes grados. Las dos se desarrollan en un registro explicativo “mecanicista”⁵³. El debate llevó a Kevin a percibir y expresar un problema y a Romain a percibirlo y proporcionar la solución que esperaban sus compañeros sin que se pueda saber si realmente se trata de un saber construido (ibid. p 140).

Es así como más allá de la superación de un obstáculo epistemológico, o de la transición de un registro explicativo a otro, la problematización se interesa en encontrar las preguntas escondidas, en el caso anterior las que motivaron las respuestas de Romain, pertenecientes a una problematización “privada” que el maestro ignora

⁵² “Hacer que los estudiantes construyan razones argumentando y haciendo emerger necesidades”

⁵³ « Précisons ce nous entendons par REX [registre explicatif] mécaniste en nous rapportant à Descartes lorsqu'il applique ses principes généraux au fonctionnement nerveux et musculaire (...) Ce sont des fibres nerveuses contenues dans les nerfs qui, pour Descartes, assurent la transmission : en se tendant, elles entraînent l'ouverture de pores dans le cerveau ; puis les esprits animaux qui s'écoulent dans les nerfs jusqu'aux muscles provoquent leur gonflement et par conséquent leur raccourcissement, causant ainsi le mouvement des segments du squelette auxquels se muscles sont attachés. Le moteur de ce dispositif assurant le mouvement des esprits animaux dans l'ensemble de nerfs et des muscles est situé dans le cerveau » (Beorchia 2005, p 131)

(Fabre & Orange, 1997). Las necesidades creadas por los estudiantes sustentan las respuestas a estas preguntas.

Finalmente señalamos que en el proceso general de construcción de problemas así concebido, se identifican tres momentos importantes, cuya aparición no es necesariamente cronológica. Estos son presentados de forma sintética a continuación:

- ❖ **Identificación (percepción) del problema:** la percepción del problema se refiere al momento en que el sujeto percibe contradicciones, controversias, paradojas etc. y decide abordarlas (Fabre, 1999, Beorchia, 2004 citados por (Gobert & Lhoste, 2011). (Beorchia, 2005) define percepción del problema como la concientización de la existencia del problema, lo que significa que cuando el sujeto busca respuesta a una pregunta, éste se enfrenta a controversias (posiciones encontradas), no encuentra respuestas o sus respuestas no son satisfactorias.
- ❖ **Construcción del problema:** se trata de evidenciar la creación de necesidades, es decir, las condiciones de necesidad de los elementos explicativos posibles, que se argumentan mediante interacción y correspondencia entre elementos pertenecientes al registro empírico y al registro de modelos. Esta fase corresponde al estado donde el sujeto supera el conocimiento común y centra su razonamiento una red de necesidades que le permiten entender porque sus enunciados no pueden ser de otra manera (Beorchia, 2005, p 125).
- ❖ **Resolución del problema:** Las opciones de solución construidas deberán ser puestas a prueba o situaciones diversas (Gobert & Lhoste, 2011)

El Espacio Problema: una herramienta para estudiar la problematización a través de la esquematización de interacciones verbales

Según (Fabre & Orange, 1997), el Espacio Problema es un concepto inspirado de la psicología cognitiva que se basa en la idea de solución de un problema como una vinculación de estados cognitivos frente a una situación, analizada a partir de un estado inicial o identificación de un problema. La identificación de una situación inicial y su determinación hacia una situación problematizadora se ha desarrollado en la tradición investigativa a través del debate científico (Beorchia, 2005; Crépin-Obert, 2010; Orange, 2003). Uno de los intereses de analizar la actividad argumentativa radica en que ésta da cuenta de la actividad cognitiva de los estudiantes (Lhoste, 2008), actividad que corresponde a los intereses de la problematización (Fabre, 1999 citado por Lhoste, 2008).

Bajo la hipótesis de que ésta actividad argumentativa puede ser esquematizada (Grize, 1996 citado por Lhoste, 2008), el proceso de problematización se representa bajo una estructura esquemática: puede ser a la escala del episodio de un debate o de la totalidad del mismo. Uno de los desarrollos de análisis macroscópico se presenta bajo la forma de **Macro-estructura** (Fabre & Orange, 1997). Esto con el fin de identificar los saberes en juego, así como los episodios diferenciados de un debate (Lhoste, 2008). La macro-estructura es un espacio problema

que muestra la evolución de este proceso sin llegar necesariamente a evidenciar la solución del problema (en ocasiones se muestra solamente su construcción). Por medio de este se pretende esclarecer las posibles controversias y explorar los enunciados posibles sugeridos por los estudiantes (Crépin-Obert, 2010). El desarrollo del debate se esquematiza mediante la diferenciación problemas identificados y cuyo proceso de solución ha sido asumido por los estudiantes. Dos tipos de esquematización han sido desarrollados en investigaciones anteriores: el tipo 1, de agrupación de preguntas y respuestas posibles y tipo 2, de agrupación de preguntas, respuestas y objeciones a estas preguntas o respuestas (Lhoste, 2008).

Sin embargo, mediante esta aproximación es difícil determinar el grado de apropiación y el nivel de construcción de conocimientos de parte de los estudiantes. Para esto será necesario información más precisa, en especial sobre los elementos que sustentan esta construcción, es decir la interrelación entre el registro de modelos (o registro teórico) y registro empírico, en el marco de los problemas particulares (Beorchia, 2005). Estos dan cuenta de las necesidades o elementos de explicación necesarios para llegar a una solución. Nos referimos al **Espacio de Condicionantes** (Orange, 2003), cuyos elementos (de información) permiten un análisis a escala microscópica de cada episodio o evolución de un problema. Este permite entre otras cosas definir el registro en el cual se desarrollan las explicaciones o Registro Explicativo.

Precisión metodológica a través de una tercera pregunta de investigación

A través de esta descripción sucinta observamos que el uso del marco teórico de la problematización contribuye a nuestro estudio, en el sentido en que nos permite un análisis dentro de un contexto de indagación, donde es posible percibir niveles de apropiación y construcción de un problema y donde las herramientas de análisis coherentes al fundamento teórico ya han sido establecidas.

Ahora bien, una adaptación de esta aproximación teórica y metodológica a la construcción de problemas se hace necesaria para su utilización en nuestro contexto de investigación. En primer lugar, desde el punto de vista de la disciplina: en secciones anteriores hemos abordado la caracterización de problema científico, donde se observan algunos elementos característicos de las ciencias físicas como la observación y la experimentación. Vimos que problemas de diversos tipos pueden ser abordados, entre ellos la construcción de modelos matemáticos de relaciones entre magnitudes y en general la construcción de hipótesis cuya validez reposa en la confrontación experimental (ver Parte I: Algunas reflexiones sobre la ciencia y la construcción del conocimiento científico).

El rol de la experimentación en el contexto de la problematización ha sido discutida en algunos trabajos, en ciencias de la vida y de la tierra (Orange, Beorchia, Ducrocq, & Orange, 1999), y en física (Briaud, 2013). El primero apunta hacia la relación de los estudiantes con lo “real” en el contexto de una situación de confrontación con los datos empíricos obtenidos en un trabajo de campo y de una situación de datos obtenidos en el laboratorio. Estos planteamientos sugieren entre otras cosas una reflexión sobre implicaciones en el plano epistemológico asociadas a la construcción del problema a través de condicionantes empíricos. El segundo estudia la confrontación de los estudiantes con una situación-problema con un “objetivo-obstáculo”. Los procesos

de problematización alrededor de la concepción de los estudiantes sobre circuitos eléctricos: « Le modèle circulaire avec épuisement du courant électrique qu'ont la plupart des élèves pour expliquer le transfert d'énergie dans un circuit électrique » (p 2) mediante el análisis de los escritos que evidencian las prácticas experimentales de 4 grupos.

A pesar de los intereses comunes de nuestro estudio, representados por la intervención del componente experimental, la información disponible no nos permite discernir criterios para juzgar la construcción de problemas y por lo tanto identificar procesos de problematización transferibles a otros temas en física. Por otra parte, se observan ciertas diferencias que pueden conducir nuestra investigación hacia vías distintas, en particular el hecho de que el tratamiento de las concepciones relacionadas con el fenómeno físico (en nuestro caso el rebote de las esferas), no constituye un interés principal en nuestra investigación.

De cara a nuestras preguntas de investigación:

[Q1] ¿Cuáles son los elementos que dinamizan la actividad de los docentes orientados hacia la construcción de problemas en un contexto de estudio del rebote de las esferas?

[Q2] ¿Cómo los docentes reducen la indeterminación de una situación abierta referente al rebote de las esferas, para hacer de esta una situación problematizadora?

Nos preguntamos hasta que punto podemos apoyarnos en esta fundamentación teórica y metodológica, que se muestra poco explotada en el campo de la física, para analizar y juzgar sobre la formulación de problemas fecundos (en términos de construcción de conocimientos científicos) planteados por docentes en formación.

En este sentido formulamos una nueva pregunta de investigación:

[Q3]: ¿Cuáles son las adaptaciones necesarias del marco teórico de la problematización para el análisis de la construcción de problemas en el contexto de una formación docente sobre el fenómeno del rebote de las esferas?

En ese orden de ideas, si tuviéramos que estudiar las perspectivas del fenómeno del rebote a la luz de las categorías que nos propone la problematización, un primer acercamiento podría consistir en recurrir a los datos históricos en la formación de las ideas científicas. Un análisis como tal será desarrollado a continuación. Estas reflexiones no constituyen una proposición de modelos de paralelismo entre psicología y ontología, sino una forma de volver concretas y operacionales estas categorías, para así poderlas entender en el contexto específico del rebote de las esferas. A esto se suma el hecho de que no conocemos formas de problematización relacionadas con el tema que provengan de estudios previos a esta investigación. Los ejemplos de la historia servirán así para proporcionar ejemplos de posibles formas de problematización y preparar el terreno para una mejor comprensión de los desempeños de los docentes respecto al tema.

2. Aplicación de categorías de la problematización a episodios históricos sobre el fenómeno del rebote en el siglo XVII.

Una aproximación a las diferentes formas de estudio posibles en torno al rebote desde la perspectiva de la problematización, puede ser alimentada por la interpretación de la construcción de estas ideas científicas a lo largo de la historia a la luz de algunas categorías de este marco teórico. Nuestra proposición consiste en elaborar potenciales escenarios de problematización a partir de los datos históricos que proporcionaran los diferentes trabajos de expertos en la recopilación e interpretación de los mismos.

Evidencias recolectadas esencialmente de los trabajos históricos desarrollados por (Ismaël-Youssouf, 1999; Roux, 1996; Viard, 2003; Vilain, 1993), nos llevan a pensar que el estudio del fenómeno del rebote de las esferas es adecuado para la generación de explicaciones de tipos diversos y de situaciones problematizadoras. Estas evidencias justifican su tratamiento desde el punto de vista de la construcción de problemas y serán desarrolladas a continuación.

Aclaremos que esta sección no se trata de un estudio histórico, caso en el que las referencias y las reflexiones presentadas aquí sin duda se mostrarían incompletas, específicamente pretendemos visualizar las posibles formas que puede tomar las soluciones a una pregunta y su argumentación en términos de la interacción entre el registro teórico (de modelos) y el registro empírico.

Para dar inicio a estas reflexiones, retomaremos el debate histórico introducido por Viard que complementaremos con las referencias ya enunciadas. Propondremos a partir de este, una discusión sobre las diferentes preguntas que pueden generarse frente al fenómeno del rebote de las esferas, dentro de las cuales se encuentra la discusión del rebote para cuerpos “duros” y para cuerpos “elásticos”. Allí se revelan ideas capitales en el debate entre Huygens y Leibniz que entendemos como un enfrentamiento entre dos formas de interpretar un fenómeno.

Ainsi, au-delà de l'anecdote, l'ignorance de la controverse entre Huygens et Leibniz occulte une compétition entre les choix théoriques qui conditionnent leurs problématiques (Viard, 2003, p 42)

Viard anunciaba la interpretación del fenómeno desde dos perspectivas: funcional y causal. Cada una de ellas da prueba de diferentes características que podrían eventualmente llevar a la diferenciación de las construcciones que progresivamente se vuelven necesarias

De conformidad con el marco teórico de la problematización nos preocupamos por conocer las preguntas potencialmente generadoras de explicaciones propuestas históricamente frente a los fenómenos. Estas preguntas se justifican mediante la pertenencia o preferencia a ciertos fundamentos teóricos de una tipología diversa (diversas corrientes de pensamiento a lo largo del siglo XVII). Las preguntas que proponemos aquí son retomadas e inspiradas principalmente del trabajo realizado por (Roux, 1996): “Rebote y elasticidad en la física

del siglo XVII⁵⁴. Los elementos esenciales son complementados ocasionalmente con la información que aportan otras referencias que serán igualmente citadas.

Para dar paso a la primera pregunta, es necesario saber, como lo señala Roux, que el estudio de la elasticidad de la época (siglo XVII) se enfrentó a una dificultad potencial de rechazo a las ideas aristotélicas como los movimientos naturales y violentos o la existencia de una materia sutil que explique el movimiento de los cuerpos. Entre los acuerdos teóricos de los filósofos llamados “mecanicistas” se encontraba la aceptación de la idea de una materia pasiva, es decir que no genera movimientos espontáneos sino que sus movimientos le son comunicados, entre otras ideas que se resistieron a la desaparición en las explicaciones de la época. Por otra parte, también para la época, la elasticidad y el rebote no estaban necesariamente ligados (p 565). Teniendo presente estos elementos, muy generales, presentamos a continuación un primer cuestionamiento posible:

¿Por qué ciertos cuerpos encuentran su forma [original] luego de haber sido deformados? (Roux, 1996)

Roux señala que en la época existía la intención de superar ciertas ideas aristotélicas como aquella de que “cada cuerpo tiene una naturaleza y se esfuerza por mantenerla en un estado conforme a ésta: si un movimiento violento se impone, el cuerpo se esfuerza por liberarse de éste lo más pronto posible. Tan pronto como ese movimiento violento cesa, el cuerpo vuelve espontáneamente a su estado natural” (p 568). Para algunos “filósofos mecanicistas”, el hecho de que un cuerpo recuperara espontáneamente su forma parecía paradójico.

Una esquematización simple de la situación expuesta anteriormente es presentada en el Esquema 2 La explicación propuesta (viñeta de diálogo) encuentra una justificación mediante la identificación de los condicionantes teóricos y empíricos (casillas empiladas al costado derecho) cuya interrelación otorga a un elemento explicativo inicialmente posible (entre otros posibles) un carácter necesario, sin el cual la explicación carecería de sentido personal. En los términos propuestos por Viard (2003), estas explicaciones son cercanas a un registro causal, ya que son necesarias las causas físicas externas para explicar la elasticidad.

⁵⁴ Para profundizar en los detalles del análisis histórico invitamos al lector a remitirse a: Roux, S (1996), *La Philosophie Mécanique (1630-1690)*, Tesis Doctoral EHESS, Paris.

La recuperación de la forma se explica a nivel microscópico por la modificación de sus poros y gracias a la circulación de una materia “sutil” (Descartes)

Condicionante teórico: la materia es pasiva, el movimiento es transmitido. El cuerpo preserva su estado natural a través de un movimiento que no le es propio. El resorte (“ressort”) o rigidez (“raideur”) es una propiedad de cuerpos sensibles como el vidrio (“verre”)

Necesidad: es necesario que la materia sutil, que circula por el cuerpo esté dotada de un movimiento natural, dirigido hacia el estado natural del cuerpo (es decir, favorable a que los poros que componen el cuerpo retomen su forma original).

Condicionante empírico: « *le verre peut se plier sans se casser, il fait ressort comme un arc et tend à reprendre sa première figure* » (Descartes, Principes de la Philosophie, citado por Roux, 1996 p 570)

Esquema 2. Problematicación posible desde la perspectiva de Descartes sobre la pregunta ¿Por qué ciertos cuerpos encuentran su forma [original] luego de haber sido deformados?

Esta proposición y otras consecuentes (p.ej. Beeckman y Cordemoy) son problemáticas en el sentido en que carece razones físicas para atribuir la capacidad a los “poros”⁵⁵ de dejarse volver a formar por la materia sutil (p 571) y se muestran como una falsa crítica a las ideas aristotélicas atribuyéndose una explicación geométrica alternativa, cuando en realidad esta recae sobre principios del aristotelismo, como por ejemplo las explicaciones que utilizan la materia sutil (p 572). Igualmente surgen nuevas preguntas frente a esta proposición: ¿Cómo puede la materia sutil alcanzar su objetivo? (es decir, el lugar donde el estado del cuerpo es natural), ¿Cómo puede distinguirse un movimiento interior de un movimiento exterior (cuando un cuerpo se mueve)?, etc. Las propuestas que constituyen este tipo de explicaciones sugieren que en estas discusiones no han podido superar el discurso aristotélico (p 576) para explicar lo que se entiende en la época como la elasticidad.

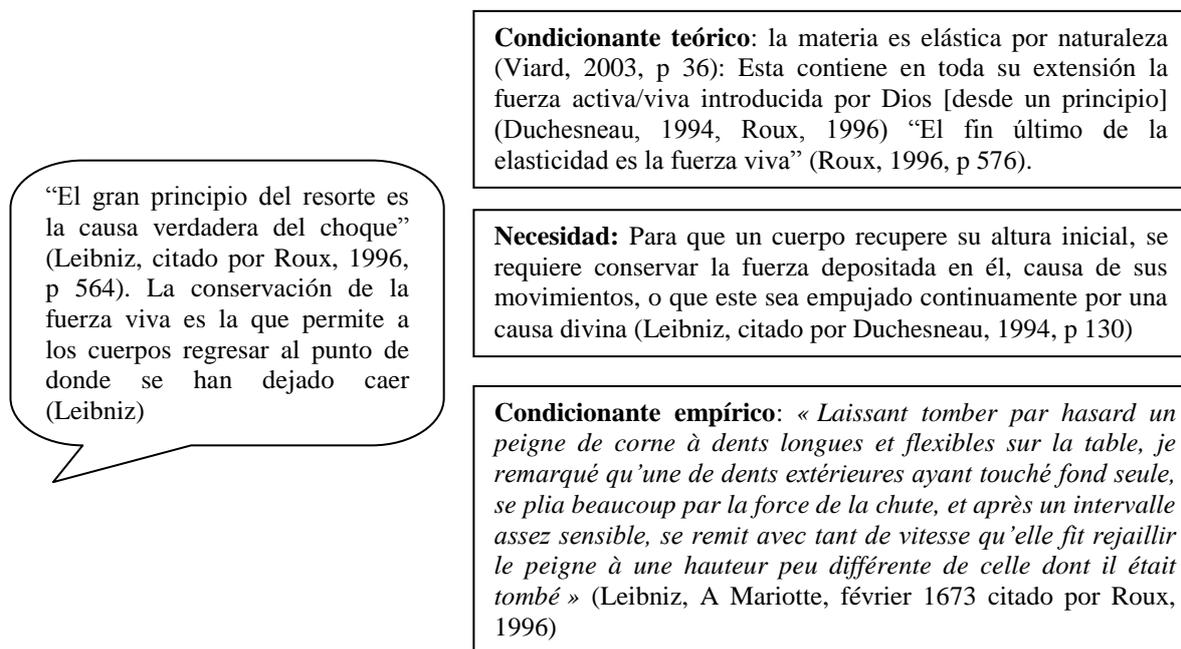
Leibniz sugiere una variación de esa definición, esencialmente por la idea de un fluido compuesto de una replicación infinita de pequeños elementos elásticos, lo que otorga una naturaleza elástica a los cuerpos. Cuya capacidad de rebote le será explícitamente asociada, como lo veremos en la siguiente pregunta.

¿Por qué ciertos cuerpos rebotan? (Roux, 1996)

Leibniz se declara, como uno de los primeros en asociar elasticidad y rebote (p 564). Esta asociación, lo llevará, entre otras cosas, a pensar en la conservación de la fuerza viva y no de la conservación de la cantidad del

⁵⁵ Especie de corpúsculos que componen al cuerpo (o primera sustancia) que son modificados por la circulación de la materia sutil para poder recuperar su forma original (circular) después de haber sido deformados (forma ovoide o elíptica) (Roux, 1996, p 572)

movimiento como lo pensaba Descartes⁵⁶. En efecto, en lo que se refiere a la cuestión del rebote (no necesariamente ligada con la cuestión anterior referida a la elasticidad) Descartes desconoce, cualquier causa en la materia para concentrarse en la conservación del movimiento como una propiedad del cuerpo en sí (lo que ahora entenderíamos como inercia según (De Buzon & Carraud, 1994). Para Leibniz la conservación se da en términos de la fuerza viva (mv^2), noción próxima a lo que ahora entenderíamos como energía cinética⁵⁷. Cabe anotar que para Leibniz la variación de la dirección de la velocidad y la aceleración en la caída libre eran nociones a tener en cuenta. Es precisamente esta fuerza la razón con la cual Leibniz justificaría el comportamiento elástico y natural de los cuerpos. La síntesis de una problematización posible es representada en el Esquema 3



Esquema 3. Problematización posible desde la perspectiva de Leibniz sobre la pregunta: ¿Por qué ciertos cuerpos rebotan? El remplazo del principio de la conservación de la cantidad de movimiento (mv) por el principio de conservación de la fuerza viva (mv^2) genera polémicas entre los seguidores de Leibniz y los seguidores de Descartes (Rey, 2004). En los condicionantes identificados en el pensamiento de Leibniz, observamos la necesidad de explicar la causa del movimiento de un cuerpo teniendo en cuenta sus condiciones iniciales. Leibniz plantea la

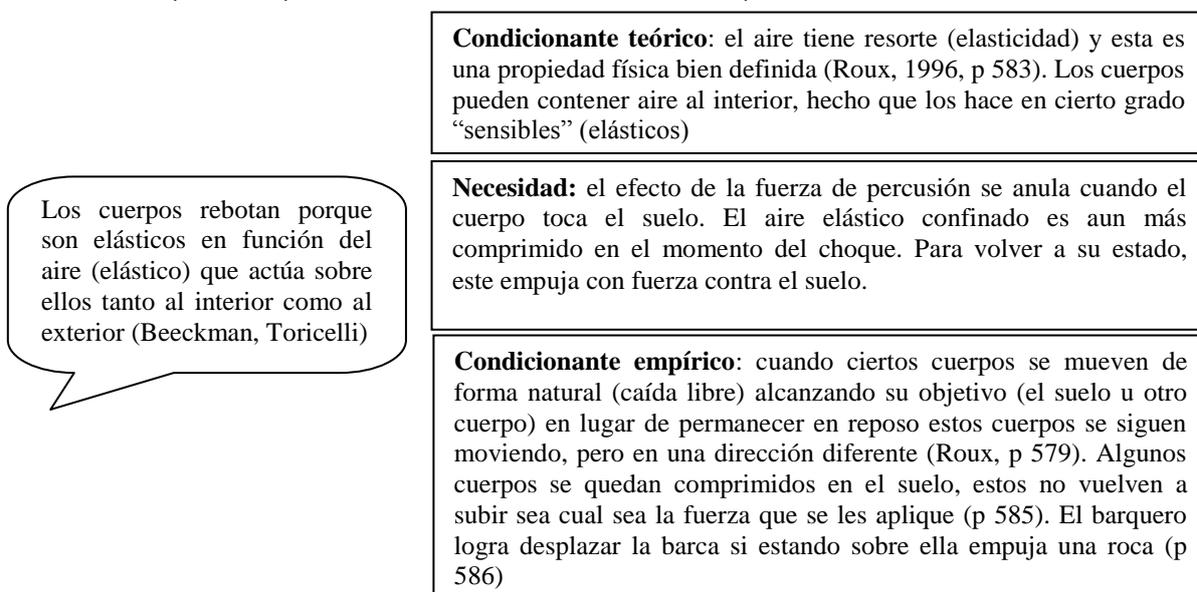
⁵⁶ « Leibniz a renoncé dès le début de 1678 au principe cartésien de la conservation de la quantité de mouvement. Il a raccordé les lois empiriques du choc à un nouveau principe de conservation : celui-ci répond à la mesure de la force mouvante selon le produit de la masse par le carré de la vitesse » (Duchesneau, 1994, p 133).

⁵⁷ « Je vois désormais où se trouve ici l’erreur. La force dans le corps de doit pas être estimée à partir de la vitesse de la grandeur du corps, mais à partir de la hauteur d’où il est tombé. Or les hauteurs dont les corps sont tombés, sont comme les carrés de vitesses en question. Donc, les forces aussi, les corps étant supposés les mêmes. Généralement donc, les forces sont en raison composée du produit simple des corps et doublée des vitesses. Par suite, deux corps sont de forces égales, non comme on le pense habituellement, lorsque les vitesses sont réciproquement comme les corps mais lorsque les carrés de vitesses sont réciproquement comme les corps. D’où il devient évident qu’il ne se conserve pas la même quantité de mouvement, mais seulement la même force. En outre, nous appelons *momenta* les carrés de vitesse, de telle sorte que les *momenta* seront à la force, comme la vitesse à la quantité de mouvement » (Leibniz, *De Corporum concursu*, citado por Duchesneau, 1994, p 129).

conservación de la fuerza viva depositada en un cuerpo como la causa de este movimiento. Dados los efectos de aceleración en caída, el pensamiento de Leibniz parece aceptar la idea de la generación del movimiento en sí mismo, mientras que para Descartes el movimiento se muestra como una magnitud independiente del cuerpo⁵⁸.

Ya para el aristotelismo el rebote generaba dificultades, el hecho de que un cuerpo ascendiera (“reflexión”) luego de haber tocado tierra, su lugar natural, parecía contradictorio; ya que una vez alcanzado el lugar natural el cuerpo debería permanecer en reposo y no “reflejarse” en el mismo ángulo, pero en dirección opuesta a la que “incide” (Roux, p 578). Una fuerza adicional (fuerza de percusión) sería necesaria para lograr que el cuerpo se mueva nuevamente (luego de haber tocado el suelo).

Explicaciones alternativas involucran la intervención del aire a la que algunos ya atribuían la continuidad del movimiento. No parecía ilógico entonces que por medio de esta se explicara también el cambio de dirección. En particular, Toricelli y Beeckman buscaron explicar el fenómeno mediante la elasticidad del aire, es decir, mediante la facultad que posee el aire de volver a su estado natural⁵⁹ (p 583). Nuestra interpretación de una problematización posible, a partir de estas ideas, se muestra en el Esquema 4.



Esquema 4: Problematización desde la perspectiva de Beeckman & Toricelli sobre la pregunta: ¿Por qué ciertos cuerpos rebotan?

A diferencia de Leibniz, Beeckman considera el choque tanto de cuerpos elásticos como de cuerpos inelásticos en función de su composición interna y atribuye el rebote a aquellos cuerpos que pueden recuperar su estado inicial. Beeckman atribuiría así la capacidad de rebotar a los cuerpos elásticos.

⁵⁸ « Il serait absurde pour Descartes d’expliquer le comportement des corps lorsqu’ils se meuvent par certaines propriétés de la matière car la matière en elle-même n’a aucune propriété, toutes se propriétés lui viennent du mouvement » (Roux, 1996, p 580).

⁵⁹ Lorsqu’un ballon se déforme au moment où il touche terre “il y a plus de corps à l’intérieur qu’il n’y en avait auparavant, la partie incurvée de sa surface subit donc une pression plus importante de l’intérieur que de l’extérieur (...) Lorsqu’on ajoute une force externe, [les atomes d’air] seront plus comprimés ; lorsqu’elle est enlevée, comme ils subissent pression uniforme qui les entoure, ils reviendront à leur forme première, et l’ayant adoptée il est nécessaire qu’ils contiennent plus d’air. L’air intérieur au ballon, le poussant vers la terre, lui donne donc une nouvelle forme, et l’air autour du ballon, le pressant uniformément, le ramène à sa forme première (Beeckman, 1623 citado por Roux, 1993)

Por otra parte, Toricelli, concibe una fuerza de percusión infinita (p 584), su efecto solo sería infinito en una especie de condiciones ideales, es decir: un choque instantáneo posible solamente con cuerpos perfectamente duros, cuerpos que para él no eran conocidos en la naturaleza.

Le temps joue donc un rôle absolument fondamental dans l'analyse de Toricelli : la percussion est infinie parce que chaque moment pendant lequel le corps tombe contient un nombre infini d'instantes, qu'aucun de ces instants ne s'écoule sans qu'une nouvelle poussée soit engendré et que ces poussées peuvent se conserver et s'accumuler au cours du temps (Roux, 1996, p 585)

Para Toricelli, la duración del choque tiene una relación con el tiempo que tarda el cuerpo en recuperar su forma inicial. Enseguida el cuerpo empuja a aquel que lo ha chocado, gracias al efecto del aire comprimido al interior.

Descartes se opone a la explicación del rebote de los cuerpos mediante la elasticidad del aire (en coherencia con su voluntad de independencia del movimiento y de la naturaleza de los cuerpos). Si el cuerpo rebota es simplemente porque la cantidad del movimiento se conserva y esta conservación no se vería afectada por el cambio de dirección (p 580). Un cuerpo transfiere su movimiento solo si su fuerza de percusión es superior a la del cuerpo que encuentra.

Roux, sugiere una oposición entre dos lógicas o tendencias de explicación: para Descartes la fuerza de percusión es finita y se transmite instantáneamente mientras que para Toricelli la fuerza de percusión es infinita y toma un cierto tiempo en transmitirse. El rebote de cuerpos duros es coherente, en una perspectiva cartesiana de contacto instantáneo y de un movimiento cuya conservación es independiente a las características del cuerpo. El rebote de cuerpos elásticos es coherente con un choque (percusión) de duración definida que lleva a estudiar el rebote como una sucesión de episodios del comportamiento del cuerpo (compresión inicial, recuperación posterior de su forma inicial, etc).

Creemos que esta diferenciación de lógicas o tipos de interpretación justifica la elección de la conservación de las magnitudes físicas estudiadas. El caso de Descartes, con respecto al rebote (disociado de la elasticidad) se trata de la conservación de una cantidad de movimiento (mv), que se asemeja a la inercia del mismo, pero explicada enteramente en términos del valor (normal) de su velocidad y no de su masa.

En el caso de Leibniz y Toricelli, la conservación de "fuerza" que el cuerpo conserva consigo. En lo que respecta a Leibniz, la magnitud fuerza viva, se asemeja a la energía cinética (mv^2), guarda una proporción con la altura de caída, se transmite del exterior y se conserva gracias a la naturaleza elástica de los cuerpos. En lo que respecta a Toricelli, se trata de un empuje que proviene del interior hacia el suelo (gracias a su condición elástica), transmitido en un intervalo muy corto, que lleva al cuerpo a la altura inicial de caída.

Esto nos lleva a, proyectar diferentes interpretaciones de este fenómeno en términos de la relación entre magnitudes: la elasticidad y la altura, la velocidad y el tiempo, la fuerza y la altura, la energía y la altura etc., relaciones identificables en las discusiones anteriores. Una forma más explícita de relación entre magnitudes puede observarse en casos como el de Huygens, por quien la pregunta no situaba en el "por qué" sino en el "cómo". Este es el caso que estudiaremos a continuación.

¿Cómo determinar las reglas de movimiento que rigen el rebote? (Viard, 2003)

Las reflexiones de Huygens se inspiran en la conservación asociada a los planteamientos de Descartes. Es decir que su interés no radica en las propiedades de la materia sino en la conservación del movimiento. Sin embargo Huygens encuentra errores en sus planteamientos, en particular se opone a la ley 3 de sus Principios (Principios de filosofía) (Ismaël-Youssouf, 1999).

La 3. que, si un corps qui se meut en rencontré un autre plus fort que soy, il ne perd rien de son mouvement, et s'il rencontre un plus faible qu'il puisse mouvoir, il en perd autant qu'il lui en donne (Descartes, *Principes de la Philosophie*, 1644 cité par (Vilain, 1993) ⁶⁰:

Este principio referente a los choques concierne directamente a la conservación de la cantidad de movimiento. Huygens señala los límites de este principio, en particular, el hecho de que evidencias experimentales contradecían esta ley, por lo que sugiere cambiarlo.

“El centro de gravedad de dos, tres, o tantos cuerpos como se quiera, avanza siempre igualmente hacia el mismo costado en línea recta antes y después de su encuentro »
(Huygens, citado por (Ismaël-Youssouf, 1999)

Condicionante teórico: La aceptación de la conservación de continuidad del movimiento proviene de Descartes, pero también se sitúa dentro de una tradición Galileana (Viard, 2003, p 41). De otra parte, se admite la existencia de átomos duros que chocan y rebotan entre sí (Youssouf, p 53-54)

Necesidad: Es necesario suponer cuerpos duros (aquellos indeformables o que conservan su forma geométrica) para la conservación del movimiento

Condicionante empírico: Una esfera dirigida hacia una esfera igual en reposo, permanece en reposo luego del choque habiendo así transferido todo su movimiento, los cuerpos rebotan y se separan con una velocidad relativa de aproximación (ibid, p 46). Los cuerpos maleables sin resorte se encuentran y retardan poco a poco su movimiento pasando por todos los grados de lentitud hasta el reposo, estos no rebotan porque nada les otorga un nuevo movimiento.

Esquema 5. Problematicación sobre la pregunta desde la perspectiva de Huygens: ¿Cómo determinar las reglas de movimiento que rigen el rebote?

En este último ejemplo observamos que el interés se sitúa en encontrar regularidades entre los comportamientos de diferentes cuerpos y no de un cuerpo en específico (establecimiento de leyes interés común entre Descartes y Huygens). En este caso la pregunta y el contexto en el que se desarrolla condujeron a Huygens a plantear la

⁶⁰ « Cette dernière règle suffit à résumer les règles de chocs qui vont suivre. Ces règles découlent en effet du principe simple de la conservation « scalaire » du mouvement, qui est le produit de la taille du corps par sa vitesse. Une seule règle ne suffisant pas à la résolution des chocs, il semblerait qu'un certain arbitraire demeure malgré la seconde partie de la phrase. Alors que la solution du choc d'un gros corps contre un petit est ainsi établie, dans certains cas, le choc de deux corps égaux reste en effet à établir cas par cas ». (Vilain, 1993, p 114)

necesidad de la dureza de los cuerpos para respetar la conservación de la energía mecánica, mientras que para Leibniz era necesaria la conservación de esa “fuerza” para respetar la condición elástica de los cuerpos.

A manera de conclusión, identificamos algunas tendencias cercanas a lo que Viard denomina “causal” (Leibniz, Descartes, Toricelli, Beeckman) en la primera y segunda pregunta, ya que se considera una secuencia de estados que explican los estados posteriores (transmisión finita). Además, se percibe allí una focalización sobre lo que pasa en el cuerpo llevando el análisis a un espacio local (cuerpo) y por último una diferenciación en la noción de conservación que privilegia estado de los cuerpos en episodios sucesivos.

Por otra parte, los razonamientos cercanos a un pensamiento “funcional” (Descartes, Huygens) ubican el fenómeno en un espacio relativo (movimiento de unos cuerpos con respecto a otros). Los intervalos de tiempo, para el contacto o choque son instantáneos, lo que parece no dar lugar a la elasticidad. La conservación, no estaría asociada entonces a un estado centrado en el cuerpo, o a una cantidad contenida en el cuerpo, sino a una continuidad del movimiento que puede ser transmitida según su condición de reposo o movimiento (respecto a otro cuerpo). Las magnitudes aquí tratadas conciernen la cantidad de movimiento (mv) y la energía mecánica. Estos fueron encontrados en las preguntas ¿Por qué ciertos cuerpos rebotan? y ¿Cómo determinar las reglas de movimiento que rigen el rebote?

Los anteriores son solamente algunos ejemplos presentados de manera general a partir de diferentes estudios de carácter histórico. Nuestra elección del tema el rebote de las esferas, se basa en criterios de una posible diversidad en situaciones de problematización. La presente reflexión nos lleva a considerar como posible la aplicación de este tema en el marco de la formación, incentivando la inscripción de los docentes formados en una u otra lógica de explicación. De igual manera, recordamos que la transformación de estas lógicas fue constatada en el contexto escolar por Viard, (2003). Desde nuestro punto de vista, la transformación, o simple reafirmación en un registro determinado, implica diferenciar las necesidades construidas en el seno de procesos de problematización, dando cuenta de los elementos de un aprendizaje o construcción de ideas científicas.

Una vez conocidos estos referentes damos paso a la presentación de nuestra propuesta de intervención.

3. Proposición de una sesión de formación docente

Como una prolongación de los trabajos anteriores (Langlois et al, 1995 y Viard, 2003) hemos decidido emprender el campo de la construcción de problemas, esta vez desde la perspectiva de la formación docente. Hemos decidido en primer lugar, incrementar el grado de abertura del enunciado para darle así la siguiente forma:

Ustedes son científicos que desean estudiar el rebote de las esferas. ¿Qué aspectos en particular les interesaría estudiar?

Contrario a los enunciados evocados anteriormente, nuestro enunciado no especifica un tratamiento a seguir en cuanto al área de la física (p.ej. tratamiento energético) y tampoco dirige explícitamente hacia las magnitudes a

observar (propiedades de los materiales, variables, etc). El fenómeno del rebote se convierte así en una situación “indeterminada”, que se encuentra sujeta a una indagación de naturaleza científica. Se espera que los docentes la transformen progresivamente en una situación “determinada” permitiendo así el acceso al conocimiento científico. Esta postura se basa en el proceso de indagación concebido por (Dewey, 1938):

L'enquête est la transformation contrôlée ou dirigée d'une situation indéterminée en une situation qui est déterminée en ses distinctions et relations constitutives qu'elle convertit les éléments de la situation originelle en un tout unifié (Dewey, 1938, p. 169)

Cuando Dewey habla de situación se refiere a la interacción entre el individuo (en nuestro caso los docentes) y su medio. Según él, existe un problema cuando hay desequilibrio y el individuo no puede enmendarlo inmediatamente. La situación es así indeterminada mientras el sujeto la vive y se vuelve problemática cuando decide enderezarla, reorganizarla (Fabre, 2009), esta empieza a tomar un sentido. De esta manera, se piensa en un proceso de evolución progresiva durante el cual diferentes problemas emergen sucesivamente.

La sesión de formación propuesta, de una duración aproximada de 2h, puede interpretarse como una situación didáctica en el sentido de la Teoría de las Situaciones Didácticas (TSD) de (Brousseau, 1998). Es decir, como la interacción entre cuatro elementos: el medio, los docentes en formación, el formador y los conocimientos asociados. Cada uno de los elementos puede intervenir en un grado variable en dicha situación, definimos cada uno de ellos a continuación, excepto los conocimientos asociados que son explicados a lo largo de la segunda parte de este manuscrito.

El medio didáctico

El entorno en el cual se desarrollan las actividades de formación cambia a lo largo de una misma sesión. Hemos previsto la emersión y evolución de las acciones de los docentes de una etapa de reflexión conceptual, llamada medio 1, a una etapa trabajo experimental llamada medio 2.

Los docentes son implicado en un trabajo colectivo por grupos ($4 \leq n \leq 6$). La inmersión en el **medio 1** se da mediante la presentación del enunciado abierto “Ustedes son científicos que desean estudiar el rebote de las esferas, ¿Qué aspectos en particular les interesaría estudiar?”. Se les solicita pensar en todo aquello que pueda ser asociado al rebote de las esferas mediante la elaboración de una carta conceptual (Mason, 1992; Novak, 1990). Esta reflexión debe permitir la formulación de problemas aptos para el tratamiento experimental (en ese momento los posibles no están condicionados por el material disponible ya que los docentes todavía no lo conocen). Esperamos que en esta etapa las eventuales objeciones se den gracias a las interacciones sociales (Lhoste, 2008).

En la siguiente etapa, **medio 2**, los docentes interaccionan con el material disponible: esferas de masa, tamaño y elasticidad diferentes; instrumentos de medición como balanzas digitales, metros, cronómetros y materia de grabación. Se pide a los docentes escoger un solo problema entre aquellos propuestos en el medio 1 y abordar

su solución con la ayuda del material experimental de su elección. En este medio se pretende orientar a los docentes hacia:

- ❖ La creación de situaciones cuyo potencial contra-intuitivo (o al menos inesperado) se ve fortalecido por las esferas escogidas, por ejemplo: balones de plástico que no rebotan o que rebotan muy poco, balines metálicos que rebotan mejor que algunos balones o bolas de plásticas, bolas de formas y masas idénticas que no rebotan de la misma manera, etc. Pretendemos que esta situación incentive objeciones adicionales a aquellas que pudieron ser propuestas en el medio 1.
- ❖ La selección de las magnitudes físicas a ser tratadas: se espera que el material ofrecido a los docentes los estimule a realizar procedimientos de medición de magnitudes como la masa, la altura del rebote, el número de rebotes, etc. Al contrario, este material no permite medir magnitudes como la elasticidad de las esferas. La medición de la velocidad antes y después del choque con una superficie es difícilmente abordable.

Los docentes en formación

Se trata de profesores de primaria novatos y expertos dentro un amplio espectro de experiencia y formación profesional⁶¹, reunidos en un contexto de formación continua. Los docentes provienen de dos contextos culturales diferentes (Francia y Colombia), su formación en un contexto general no comprende el estudio de la física a nivel universitario. Sin embargo, partimos del supuesto que ellos conocen magnitudes fundamentales en física mecánica (masa, velocidad, longitud, etc.) y que no poseen conocimientos particulares en torno al rebote de las esferas. En efecto, no se contempla el estudio científico del fenómeno de rebote tanto en los programas académicos colombianos como en los franceses. Dada la confrontación a una indicación abierta, los docentes son llevados a establecer acuerdos colectivos tanto en la implementación del medio 1 como en la del medio 2: elección del problema, la elección del material disponible, mediciones experimentales a efectuar, procedimientos a seguir, etc. Finalmente, se les ha otorgado autonomía para que decidan la forma en cómo se desarrolla su práctica y el momento en que ésta se finaliza.

El formador

La intervención del formador⁶² (idéntica para los grupos francés y colombiano) contempla un acompañamiento de los procesos cuyas diferencias son delimitadas por los intereses de cada grupo. Sin embargo, recordemos que todos ellos se originan a partir de una indicación común (el enunciado abierto). El formador vela por la elección y tratamiento de un solo problema; él debe estar suficientemente preparado para responder a las

⁶¹ Así se describe de hecho, la población de los docentes de primaria tanto en el contexto de la educación francesa como en el contexto de la educación colombiana. Esta última tal vez presentando una mayor flexibilidad para la admisión a la carrera docente.

⁶² El formador es investigador en didáctica de las Ciencias

particularidades de los problemas propuestos por cada uno de los grupos. En su intervención no se concibe la emisión de juicios sobre la elección de los temas, de los materiales, o de las explicaciones propuestas por los docentes a lo largo de las discusiones. En cambio, él se permitirá formular preguntas sobre los procedimientos, los resultados, el punto de vista de los integrantes de los grupos, etc. Al final de la sesión ofrece una pequeña retroalimentación sobre los temas elegidos por cada uno de los grupos.

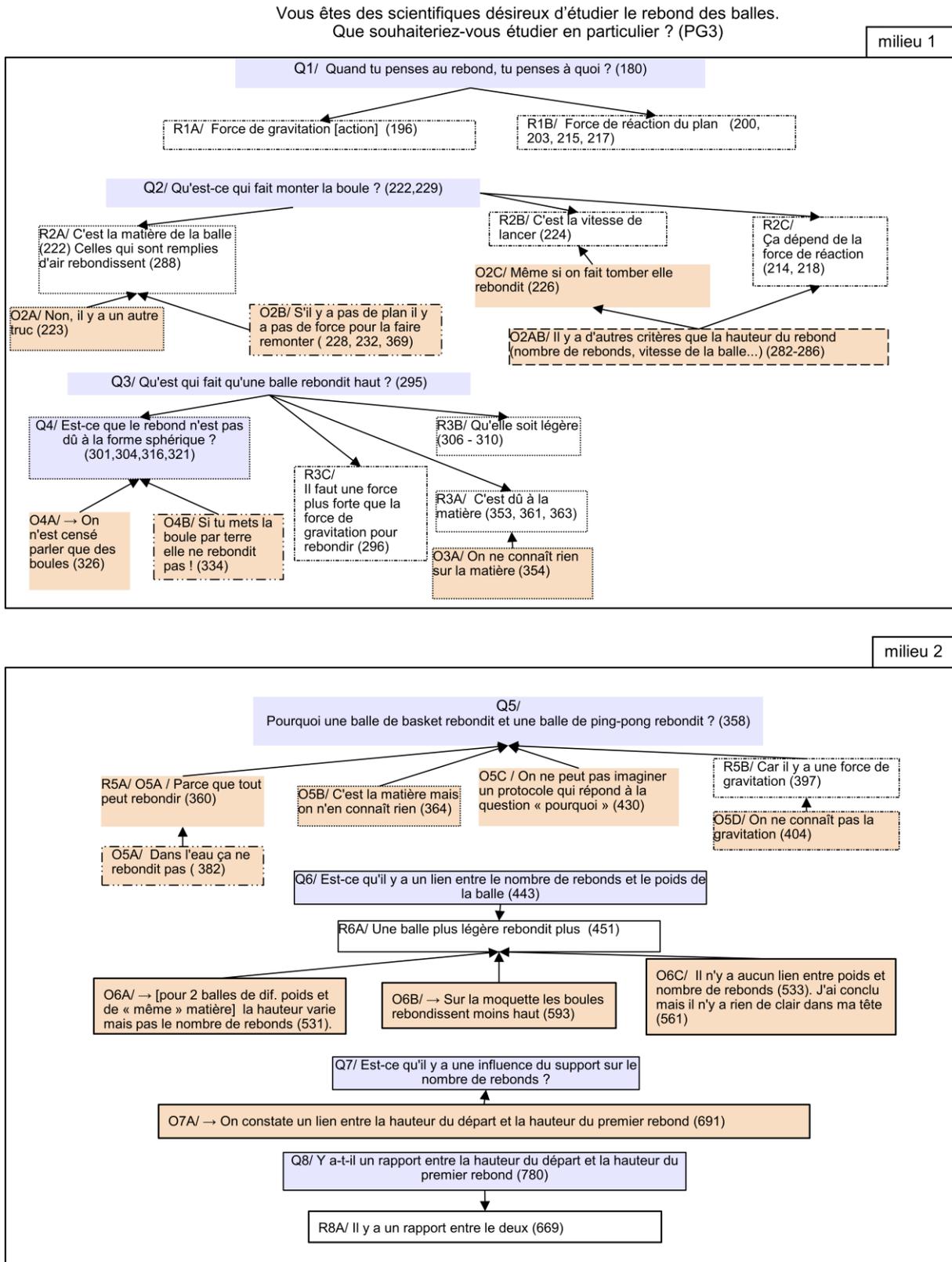
4. Metodología de recolección y análisis de datos

Los intercambios verbales entre los profesores de cada uno de los grupos de trabajo (ocho en total) fueron grabados y transcritos. Para el análisis de este conjunto de datos hemos recurrido a las herramientas de análisis de contenido, tal y como sugerido por (Bardin, 1977). Para ello hemos fragmentado el discurso transcrito en frases u oraciones que representan una idea y que se les puede asignar un sentido. Estas frases son las que constituyen nuestras unidades significativas del discurso que hemos clasificado en las siguientes categorías: preguntas realizadas, respuestas, procedimientos escogidos, objeciones encontradas. De acuerdo al marco teórico de la problematización, buscamos en primer lugar caracterizar la dinámica general estos intercambios (nivel macro), en medio de los cuales se da la emergencia de los problemas. Hemos utilizado el espacio problema “macro estructura” como herramienta para dar cuenta de esta dinámica. Esta caracterización nos sirve de apoyo para identificar y analizar las necesidades creadas por los docentes, para lo cual hacemos uso de la herramienta espacio de condicionantes (nivel micro).

Macro-estructura

Luego de su identificación previa, los elementos considerados reveladores en el discurso de los docentes han sido reorganizados con el fin de construir una macro-estructura (Fabre & Orange, 1997). Es decir que se han utilizado ciertos elementos provenientes del análisis de contenido (preguntas, respuestas, objeciones expresadas por los docentes) para una reconstrucción de discurso que toma una forma esquemática.

, se representa la evolución de posibles a lo largo del tiempo o, lo que es igual, la caracterización de la forma en cómo las situaciones se “determinan” progresivamente. La presente reconstrucción de discurso retoma el modelo propuesto por Crépin-Obert (2010): Preguntas (Qn), Respuestas (Rn) y Objeciones (On). Hemos elegido distinguir las objeciones sugeridas por los resultados experimentales mediante una pequeña flecha horizontal al interior de la casilla correspondiente. Las unidades de significación escogidas para construir la macro estructura que se refieran a un mismo tema y se identifican con un mismo código gráfico: el borde de las casillas.



Esquema 6. Macro estructura que ilustra la práctica emprendida por un grupo de docentes (grupo PG3)

El Esquema 6 muestra esta construcción a través de la representación de los intercambios en uno de los grupos de docentes: grupo "PG3". Bajo la intención de clarificar la metodología aplicada, proponemos al lector el

siguiente El fragmento, que evidencia la construcción de una parte de la macro estructura mediante la asociación de las unidades de significación a las categorías previstas.

- 63 222 : *Qu'est qui la fait remonter ? [Q2] Comme ça [posée]... elle ne va jamais rebondir*
 223 : *Non, il y a un autre truc [O2A]*
 224 : *Et c'est la vitesse aussi ! La vitesse de lancer [R2B], d'accord parce que tu lances à une certaine vitesse...*
 226 : *Oui, même si tu la fais tomber, elle rebondit [O2C] / un peu moins fort... mais*
 228 : *S'il n'y a pas de plan, il n'y a rien pour la faire remonter [O2B] [...]*
 243 : *Tu as mis le doigt sur un truc // Il y a une différence entre si je lance avec une certaine / si j'imprime une certaine vitesse à ma main et si je la laisse seulement [inaudible] [R2B]*
 244 : *Oui, mais on est d'accord, on peut étudier ça, tu comprends ?*
 245 : *La dépendance de la vitesse*
 253 : *Je pense qu'on doit faire le lien entre hauteur du rebond, en gros, et vitesse [R2B], quel est le lien ? [...]*
 282 : *Il faudrait poser la question de quel est le rapport entre la force de lancement et la hauteur du rebond ou le nombre de rebonds ou quelque chose comme ça. Il y a le nombre de rebonds, il y a la vitesse du rebond...*
 286 : *Oui, il y a plein de choses là... [O2AB] [...]*
 295 : *Il faut poser une question là / qu'est ce qui fait qu'une balle rebondit haut [Q3] ? Qu'il y a une force plus forte que la force de gravitation [R3A].*
 306 : *C'est aussi parce qu'elle est légère, tu la jettes sur un plan et elle ne va pas rebondir [R3B]*
 337 : *C'est la matière [R3A]*
 338 : *Le poids, le poids [...] [R3B]*
 354 : *La matière c'est sûr que là il y a peu de choses / on ne connaît rien sur la matière / on ne va pas pouvoir répondre à une question sur la matière [O3A]⁶⁴*

⁶³ Las intervenciones han sido numeradas de forma cronológica, la nomenclatura L"#” corresponde a la identificación del locutor, para todas las transcripciones de este documento L0 representa la intervención del formador. Indicaciones y convenciones para transcripciones disponibles en VALIBEL, 2004 http://www.uclouvain.be/cps/ucl/doc/valibel/documents/conventions_valibel_2004.PDF (consultado enero 2014). Con el ánimo de facilitar la comprensión, hemos escogido las intervenciones asociadas a elementos clave de la macro estructura (es decir, preguntas [Qn], respuestas [Rn] y objeciones asociadas [On]), hemos descartado las ideas repetitivas y aquellas que se alejan de nuestro propósito de elaboración.

⁶⁴ 222: *¿Qué es lo que la hace volver a subir? [Q2] [la esfera puesta] así solamente no va a rebotar*
 223: *No. Hay algo más [O2A]*
 224: *y ¡es la velocidad también! La velocidad de lanzamiento [R2B], ya entiendo, porque tu lanzas con una cierta velocidad...*
 226: *Si [pero] igual si la dejas caer rebota [O2C], rebota menos... pero*
 228: *Si no hay un plano, no hay nada para hacer que vuelva a subir [O2B] [...]*
 243: *Haz dicho algo interesante// es diferente si lanzo con una cierta... si doy cierta velocidad a mi mano que si solamente la dejo [inaudible] [R2B]*
 244: *Si pero, estamos de acuerdo en que podemos estudiar esto, ¿me entiendes?*
 245: *¿La dependencia [a] la velocidad?*
 253: *Yo creo que tenemos que hacer el vínculo entre altura de rebote, en general, y velocidad [R2B] ¿cuál es el vínculo? [...]*
 282: *Hay que hacer la pregunta: cuál es la relación entre la fuerza de lanzamiento y la altura del rebote o el número de rebotes o algo así. Esta el número de rebotes, está la velocidad del rebote...*
 286: *Si, ahí hay muchas cosas [O2AB] [...]*
 295: *Ahora tenemos que hacer la pregunta / ¿qué es lo que hace que una bola rebote alto? [Q3] Que haya una fuerza más fuerte que la fuerza de gravitación [R3A].*
 306: *Es también porque esta es ligera, tu la arrojas sobre un plano y no va a rebotar [R3B]*
 337: *Es la materia [R3A]*
 338: *El peso, el peso [...] [R3B]*
 354: *La materia, seguro que hay pocas cosas / no sabemos nada sobre la materia / no vamos a poder responder una pregunta sobre la materia [O3A]*

Podemos observar en este fragmento⁶⁵, que los docentes se interesan en las razones por las cuales, según ellos, una bola “vuelve a subir” a través de la pregunta [Q2]. La velocidad de lanzamiento [R2B] es enunciada como continuación de la objeción [O2A] de naturaleza empírica: la existencia de un plano no es suficiente, ya que una bola puesta en un plano no rebota. Se discute entonces sobre el hecho de que un rebote puede producirse sin dar una velocidad inicial a la bola; se trata en ese momento de una nueva objeción [O2C] que conduce a los docentes a interesarse sobre la influencia de la velocidad sobre el rebote. El número de magnitudes a tener en cuenta (altura, velocidad, número de rebotes) se muestra extenso, es la objeción [O2AB] a la que relacionamos la frase “sí, ahí hay muchas cosas”. Luego de esta objeción, el estudio del rebote es asociado al estudio de la altura después del choque mediante la pregunta [Q3]: ¿qué es lo que hace que una bola rebote alto? Se enuncian tres posibilidades: “una fuerza más fuerte que la fuerza de gravedad” [R3A], la masa de la bola⁶⁶ [R3B] y la materia [R3C]. La materia es descartada como posible en esta indagación debido a la objeción [O3A]: “no sabemos nada sobre la materia”.

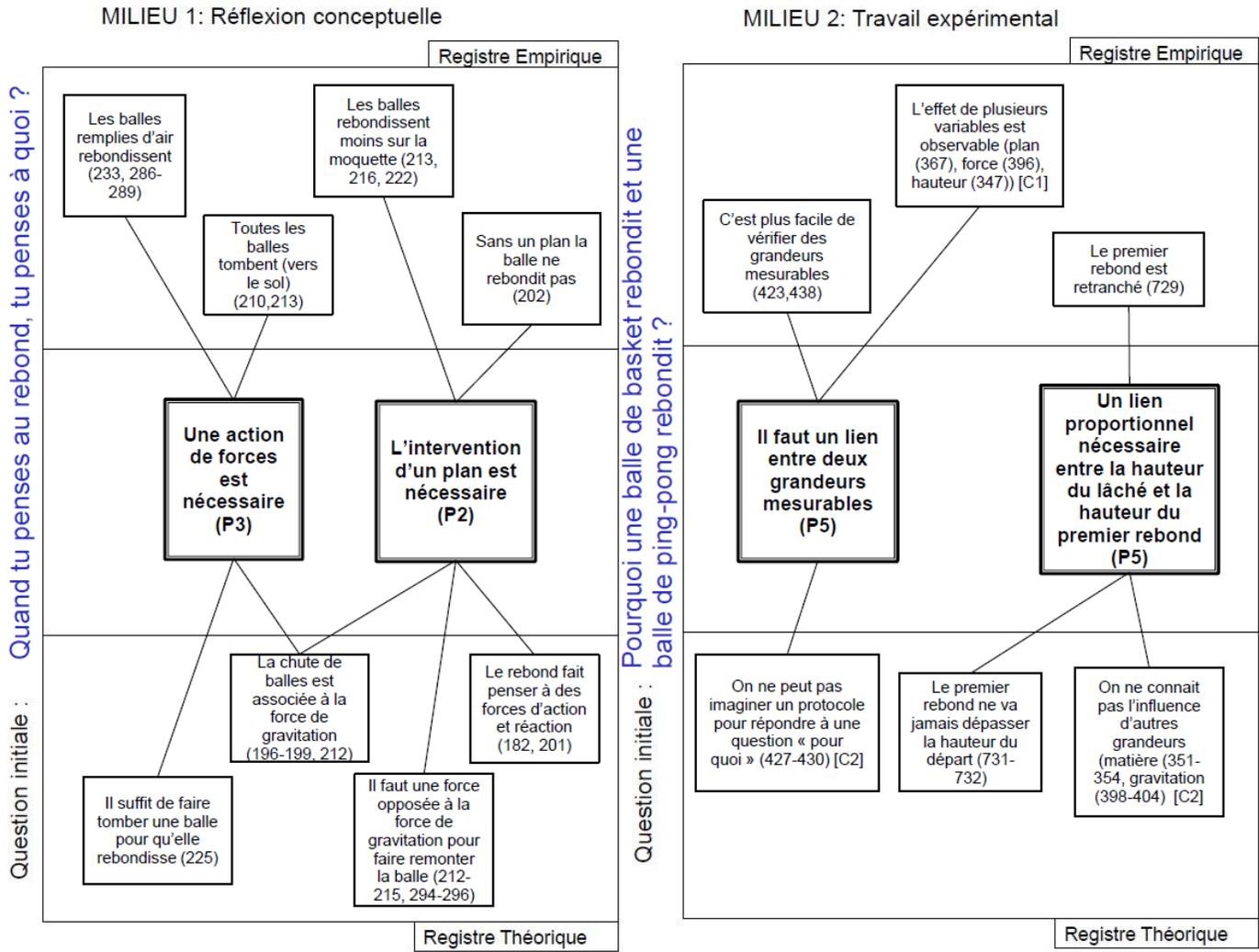
La reconstrucción y codificación de las interacciones bajo la forma de macro estructuras permiten acceder a una dinámica de evolución de las preguntas formuladas, permiten caracterizar la forma en cómo estas evolucionan a lo largo de las respuestas y las objeciones con las que se encuentra. Las unidades pertenecientes a las diferentes categorías (preguntas, respuestas, objeciones) con un mismo interés son codificadas por el borde de las casillas. Así agrupadas, estas forman una meso-estructura de un “problema” particular. Más allá de la distinción de los problemas y sus dinámicas, el marco teórico de la problematización valoriza las “necesidades” como elementos fundamentales de la construcción del saber científico. La macro-estructura pone en evidencia momentos en los que esas necesidades son requeridas (por ejemplo, afinamiento o cambio de las preguntas); el espacio de condicionantes nos permite caracterizarlas.

Espacio de condicionantes

Con esta herramienta se busca describir la evolución de los posibles a partir de un estado inicial de indeterminación. En este esquema se identifican los condicionantes teóricos y una posible asociación a los condicionantes empíricos (inferencia del investigador a partir de las evidencias), sustentando así la creación de necesidades que otorgan sentido dado a las preguntas y respuestas sugeridas por los docentes.

⁶⁵ En ese momento de intercambios (toma de palabra No. 222) los docentes no disponen aún del material experimental

⁶⁶ En las interacciones verbales los docentes tienen la tendencia de referirse a la magnitud “masa” como “peso”, en este fragmento el peso, desde el punto de vista físico es llamado “fuerza de gravitación”.



Esquema 7. Espacio de condicionantes inferido para el grupo de docentes PG3

La articulación de estas dos herramientas de análisis (macro estructura y espacio de condicionantes) conduce a esclarecer de manera sutil las necesidades que restringen los elementos de solución posibles. Vale la pena aclarar que la macro estructura da cuenta de una dinámica de aparición de problema(s), pero esta presentación no permite juzgar la naturaleza científica de estos; esto es, la asociación entre el registro empírico y el registro teórico la permite acceder a este criterio de científicidad.

Es decir, que los criterios de científicidad que nos permitirán juzgar la construcción de los conocimientos serán proporcionados, esencialmente, por la definición de un conocimiento científico problematizado (Bachelard, 1938). Allí se examina el paso de un saber asertorio, sujeto a la evidencias hacia un saber apodíctico que se fundamente en su carácter “necesario”. Entender dicho carácter implica “no solamente saber por qué, sino saber porque esto [una respuesta] no puede ser de otra manera” (Bachelard 1949). Los elementos de justifican dicha existencia han de buscarse en la articulación de los condicionantes en el plano empírico y en el plano teórico. Por otra parte, (Lhoste, 2008), interpretando algunos planteamientos de Meyer (1979), aclara que la necesidad no es una propiedad intrínseca de la respuesta (Lhoste, 2008):

Pour Meyer, l'expérience doit trancher l'alternative et, même si rien n'empêche les réponses d'être autres que ce qu'elles sont, c'est en cela qu'elle acquiert, pour Meyer, leur caractère de nécessité. Ainsi, la nécessité n'est pas une propriété intrinsèque de la réponse, mais c'est dans ce mouvement qu'elles acquièrent un statut de nécessité dans le cadre d'une enquête (Lhoste, 2008, p 47)

Del contexto de cada una de las indagaciones llevadas a cabo por los docentes, interpretamos los elementos del registro empírico y teórico cuya interacción justificaría el carácter necesario de un elemento de respuesta, expresado por lo que llamamos “necesidades”. La creación de una necesidad será para nosotros signo de la construcción de un problema.

En el ejemplo mostrado por el Esquema 7, presentamos las construcciones realizadas por uno de los grupos analizados en nuestro estudio. El esquema se compone, en la parte superior de los elementos que catalogamos como parte del registro empírico y en la parte inferior aquellos catalogados como pertenecientes al registro teórico. Los elementos de la parte central, resaltados en negrilla, se refieren a las necesidades creadas, que hemos inferido a través de los criterios que venimos de evocar. Estas necesidades están acompañadas de un distintivo entre paréntesis que nos permitirá diferenciarlas entre sí en función del tipo de problema en juego (este punto será desarrollado más adelante). En la presentación esquemática del espacio de condicionantes se propone una división entre las actividades desarrolladas en el medio didáctico 1 y las actividades desarrolladas en el medio didáctico 2 (división que también se ha tenido en cuenta en la elaboración de las macro estructuras). Cada uno de estos medios está acompañado de la pregunta inicial que los docentes se plantean espontáneamente, o que los docentes asumen implícitamente y que hemos inferido a través de sus formas de proceder (las preguntas a las que responden sus acciones o procedimientos, también hacen parte del espectro de posibles). Ellas se identifican tanto en la macro estructura como en los espacios de condicionantes con un asterisco al inicio de la frase.

De esta manera concluimos la descripción de la elección metodológica que proponemos para el desarrollo de esta investigación. La identificación y definición de estos elementos tanto teóricos como metodológicos nos permite presentar, en el siguiente capítulo, las evidencias recolectadas durante nuestra intervención.

PARTE 3: Resultados de la experimentación y discusión.

1. Los procesos de construcción de problemas llevados a cabo por los docentes vistos desde la perspectiva de la “problematización”

El análisis de los intercambios verbales mediante las herramientas proporcionadas por la problematización nos permiten describir la dinámica, los intereses y evolución del proceso cognitivo de cada grupo de docentes. El análisis de las ocho macro estructuras nos permite identificar los tipos de problemas abordados tanto en el medio didáctico 1 como en el medio didáctico 2. La naturaleza de los intereses tratados en las preguntas formuladas a lo largo de las interacciones (Qn) y los elementos explicativos posibles (Respuestas Rn, y nuevas preguntas Qn') nos permiten elaborar una tipología de problemas a través de la organización de las macro estructuras. Cada tipo de problema corresponde a un mismo interés expresado mediante estos elementos (preguntas, preguntas inferidas⁶⁷, respuestas) o mediante procedimientos coherentes de una misma naturaleza. Cinco tipos de problemas diferentes han sido identificados, estos se relacionan en la Tabla 4. En etapa de análisis no es posible referirse a los problemas como “problemas construidos”, ya que es el espacio de condicionantes que proporcionará los elementos de juicio sobre dicha construcción.

P1	Influencia de las magnitudes físicas constantes para una esfera dada, propias a esta, tales que la masa (frecuentemente llamada peso por los docentes), la materia, la elasticidad, la dureza
P2	Estudio del choque (por ej. entre la esfera y el suelo)
P3	Influencia de magnitudes variables para una esfera dada (por ej. la fuerza, la velocidad de lanzamiento, la altura de caída, la superficie sobre la cual rebota) o constante por una esfera dada pero no propia a la esfera (por ej. fuerza de gravitación)
P4	Elección de un atributo para caracterizar la calidad del rebote (número de rebotes, duración, altura del rebote)
P5	Definición de una relación entre dos magnitudes físicas (velocidad de lanzamiento y número de rebotes, masa y número de rebotes, masa y altura del rebote, altura de caída y altura del rebote, etc.

Tabla 4 Tipología de los problemas identificados para el conjunto de grupos de docentes franceses y colombianos

La descripción de las dinámicas de problematización son presentadas a continuación en función del medio didáctico en el que son identificados (1: conceptual y 2: experimental). Los resultados que presentamos a continuación incluyen las actividades desarrolladas por los docentes franceses (PGn) y colombianos (CGn).

⁶⁷ En los resultados mostrados bajo la forma de macro estructura se distinguen las preguntas inferidas por el investigador con un asterisco

Medio didáctico 1

La Tabla 5 nos permite identificar el tipo y comparar la cantidad de problemas que señalamos como identificados por cada uno de los grupos (es decir, formulación de preguntas cuyo proceso de solución ha sido abordado) y los problemas construidos (es decir, aquellos a los que se les atribuye la creación de necesidades explicativas). Los primeros identificados gracias a la elaboración de las macro estructuras (ver Anexo 1), los segundos identificados gracias un estudio más detallado y complementario proporcionado gracias a la construcción del espacio de condicionantes.

GRUPO	MACRO-ESTRUCTURAS : problemas identificados	ESPACIO DE CONDICIONANTES: problemas construidos
CG1	P1 - P3	P3
CG2	P1- P3 -P4 -P2	P3 - P2
CG3	P1 - P3	P1 - P3
PG1	P1 – P3	P1
PG2	P1 – P3 - P2	P1- P3 - P2
PG3	P3 - P2 – P5	P3 -P2
PG4	P1 – P3	P1
PG5	P1 – P3	
TOTAL	20	12

Tabla 5 Listado de problemas abordados (macro-estructuras) y problemas construidos (espacios de condicionantes y necesidades) a lo largo del medio didáctico 1.

En primer lugar, observamos que para un total de 20 problemas identificados por los docentes, 12 de ellos (60%) se convierten en problemas construidos. Dicho de otra manera, a ocho problemas (de los 20 enunciados) no se les asocia ninguna necesidad. Se observa por ejemplo que el grupo PG5 no construye ninguno de los problemas, sobre los cuales trataban sus preguntas (problemas P1 y P3), sus respuestas y sus objeciones. Esto sugiere, desde el punto de vista de la construcción de un problema intercambios infructuosos en el ámbito del medio didáctico 1. Concretamente observamos que casi la totalidad de los grupos emprende el estudio del rebote a través del problema P1 lo asocia con el problema P3. Sin embargo, solamente 4 de 7 problemas P1 terminan siendo problemas construidos. Por el contrario, el problema P2 parece prestarse mejor a la construcción. Es decir, a pesar que es percibido por un número reducido de grupos (3/8), existe en todos los casos una necesidad asociada a este problema. Estas evidencias sugieren que una situación abierta, aun motivando el cuestionamiento de los docentes, no es necesariamente propicia para la creación de necesidades y por consiguiente a la construcción de problemas.

En lo que respecta a los condicionantes, observamos en primer lugar aquellos que pueden transponerse a las diferentes prácticas. Un análisis preliminar de nuestros datos (Martinez, de Hosson, & Décamp, 2013) nos ha

Llevado a identificar estos condicionantes. Posteriormente, su intervención se analiza a la luz de la construcción de problemas (creación de necesidades). En la Tabla 6 se relacionan los condicionantes observados y el problema en el cual se ha detectado su intervención, en el contexto de desarrollo del medio didáctico 1.

Condicionantes constatados...	..en la construcción del problema tipo :
[C1] Demasiadas variables a considerar	P3, P1
[C2] Conocimientos disponibles de los profesores insuficientes	
[C3] Los resultados experimentales contradicen los resultados esperados	
[C4] Las magnitudes físicas no pueden ser medidas con el material disponible	

Tabla 6 Lista de condicionantes identificados en la creación de necesidades a lo largo del medio didáctico 1.

Es así como en este primer medio didáctico se observan la intervención de condicionantes en los problemas relacionados con la influencia de las magnitudes constantes propias a la esfera (P1) o no (P3) y magnitudes variables para una esfera dada (P3). Esto da lugar por una parte, a la creación de necesidades como una relación entre el peso y la masa (cuando esos conceptos están claramente diferenciados por los docentes) (CG1, CG3) y por otra parte, la extensión hacia otros posibles como: “¿Cuál es la influencia de la fuerza de lanzamiento sobre la altura del primer rebote?” (PG2), lo que implica una transición del problema P3 al problema P5.

La descripción de las dinámicas de construcción de problemas propias de cada grupo se muestra en el Esquema 8 este presenta un panorama de la creación de necesidades por el conjunto de los grupos en función del tipo de problemas. La primera columna muestra las preguntas iniciales que se plantean los docentes inspiradas por nuestro enunciado abierto (“Ustedes son científicos que desean estudiar el rebote de las esferas, ¿Qué les gustaría estudiar en particular?”). La inscripción a las casillas subsiguientes (P1, P2, P3, P4, P5), representa la creación de una necesidad en función de problema asociado. La trayectoria seguida por cada uno de los grupos se ha diferenciado por flechas de colores, la sucesión mediante estas flechas busca respetar, en la medida de lo posible, su cronología de aparición. Es así como la primera construcción corresponde a la casilla unida a la pregunta inicial mediante la flecha, la última casilla a la que dirige cada flecha corresponde a la última construcción detectada en el medio 1. En este esquema se presenta el caso de un grupo (PG5) cuya práctica no sugiere ninguna construcción (en lo que se refiere al medio 1), por lo que no asociamos ninguna flecha y ninguna casilla a la pregunta que el grupo se planteó inicialmente.

Una vez definidas las convenciones que permiten leer el Esquema 8, procedemos a la lectura de los resultados más generales.

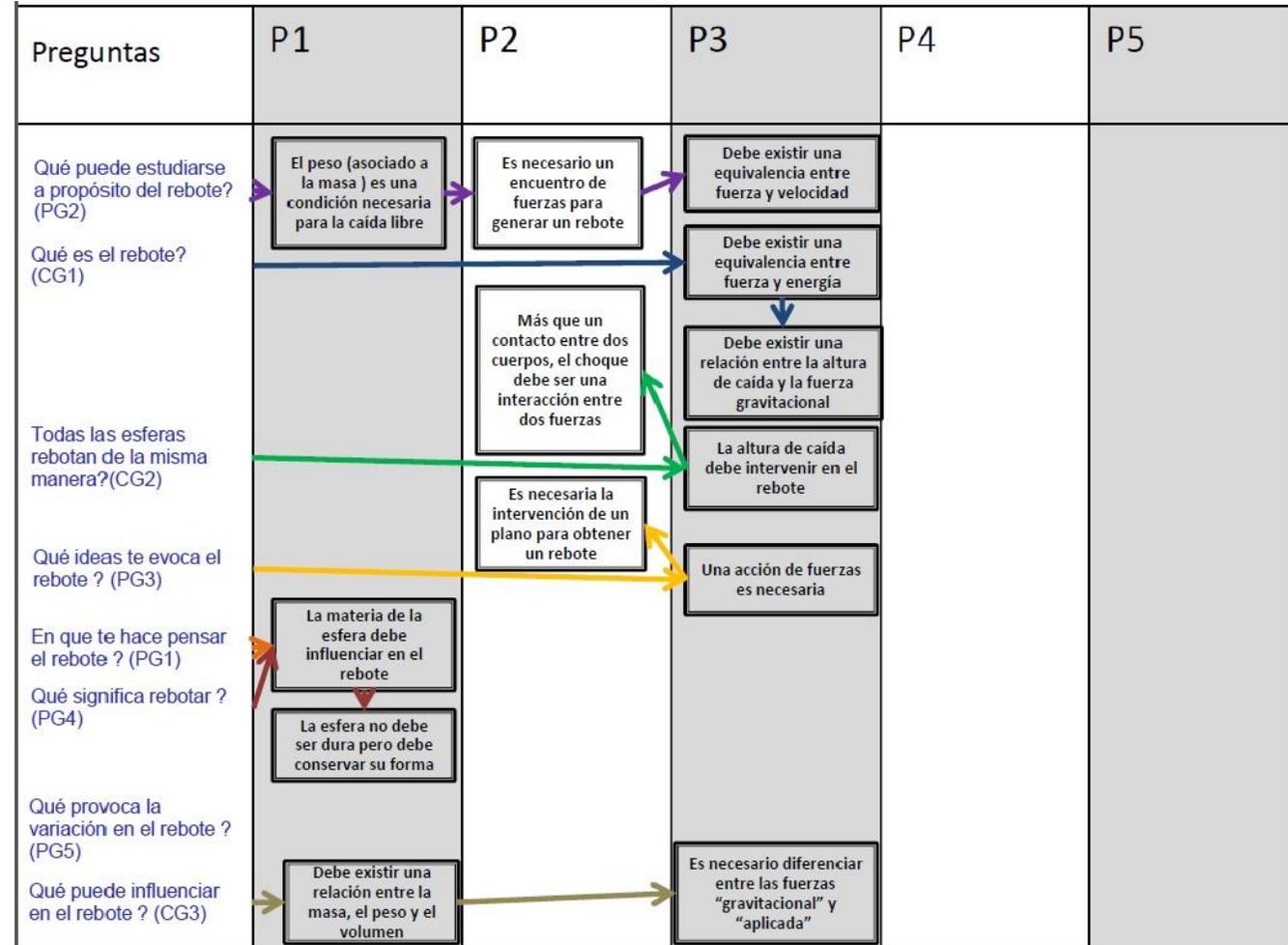
Para comenzar, señalamos una tendencia equilibrada de construcción para los problemas de tipo P1 y P3 (columnas P1 y P3). Esta primera agrupación general sugiere dos tipos de intereses en el medio conceptual. Por una parte, el interés sobre las magnitudes físicas constantes y propias a la esfera (P1) como la masa, el peso, el volumen, tendencia que llamaremos focalización sobre el objeto (esfera). Por otra parte, el interés en el estudio

de magnitudes variables (P3) como la altura o la velocidad o magnitudes constantes pero externas a la esfera como las fuerzas de lanzamiento y de reacción del suelo. Este segundo grupo lo asociamos a una focalización sobre el movimiento. Observemos finalmente que no se evidencian construcciones con respecto a los problemas P4 y P5.

El Esquema 8 muestra además que las construcciones de tipo P3 se encuentran mayoritariamente acompañadas por construcciones asociadas a problemas P2, es decir, construcciones relacionadas con el estudio del choque. En el caso de los profesores que hemos observado parece haber un consenso sobre concepción de un solo tipo de choque entre la esfera y el plano: aquel producido luego de la caída de la esfera o movimiento vertical.

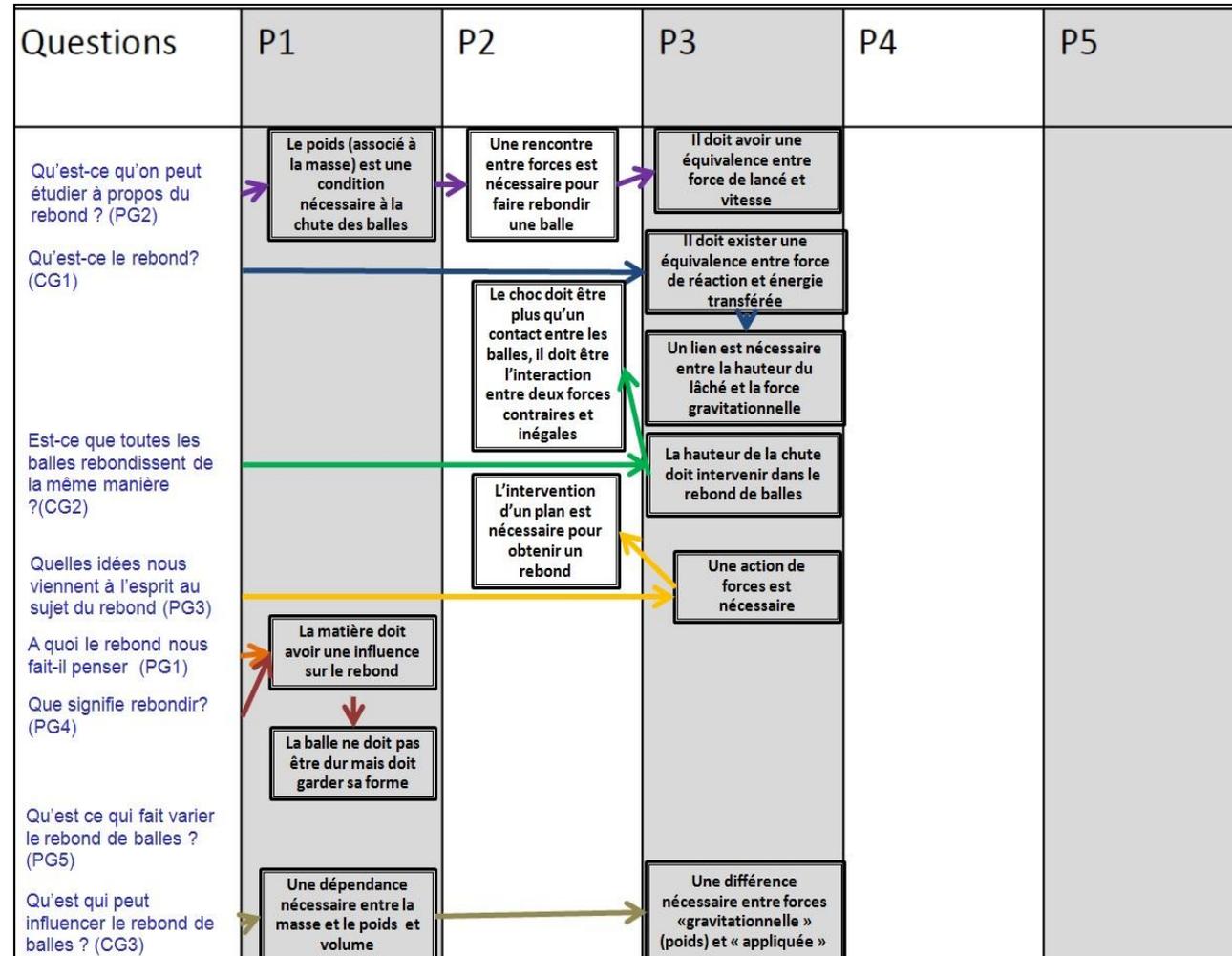
Las construcciones observadas por cada uno de los grupos se detallan mediante la elaboración de los espacios de condicionantes (ver sección: espacios de condicionantes inferidos). Las secciones que presentamos a continuación se basan en la descripción de las 2 grandes tendencias percibidas en el medio 1, a lo que seguirá la descripción de las construcciones observadas en el medio 2.

P1	Influencia de las magnitudes físicas constantes para una esfera dada.
P2	Estudio del choque (por ejemplo entre la esfera y el suelo).
P3	Influencia de magnitudes variables para una esfera dada o constante por una esfera dada pero no propia a la esfera.
P4	Elección de un atributo para caracterizar la calidad del rebote.
P5	Definición de una relación entre dos magnitudes físicas.



Esquema 8 (idioma español) Dinámicas de construcción de necesidades obtenidas a partir del análisis macro y micro de la práctica de indagación de los docentes.

P1	Influence des grandeurs constantes pour une boule donnée et propres à cette boule
P2	Étude du choc (e. g. entre la balle et la surface)
P3	Influence des grandeurs variables pour une boule donnée ou constante pour une boule donnée mais non propre à la boule
P4	Choix d'un attribut pour caractériser la qualité du rebond
P5	Établissement d'un rapport entre deux grandeurs



Esquema 9 (idioma francés) Dinámicas de construcción de necesidades obtenidas a partir del análisis macro y micro de la práctica de indagación de los docentes.

Primer grupo de tendencias de construcción en el medio 1: focalización sobre el movimiento.

La discusión que genera el enunciado propuesto al inicio de la formación, propicia un cuestionamiento espontáneo que parte en su mayoría (5/8) de preguntas abiertas como por ejemplo: ¿Qué es el rebote? (CG1), ¿Qué se puede estudiar en torno al rebote? (PG2), ¿Qué ideas evoca el rebote? (PG1, PG4), etc. De otra parte, observamos preguntas más orientadas, que en términos generales evocan las posibles influencias en el rebote de las esferas, por ejemplo: ¿Qué provoca una variación en el rebote? (PG5), ¿Qué puede influenciar el rebote? (CG3) etc. Finalmente encontramos preguntas de otro tipo como: ¿Todas las esferas rebotan de la misma manera? (CG2). Como respuesta a estos cuestionamientos los docentes abordan diversos procesos con relación a temáticas determinadas: tres ideas principales se observan en cuanto a las construcciones de los problemas P3 y P2 (que lo acompaña en casi todos los casos).

En primer lugar, para los casos de construcción del problema P3, se observa la voluntad de explicar el fenómeno a través de la asociación de la fuerza de lanzamiento, la velocidad de lanzamiento y la energía [mecánica] de la esfera, analizada a través de magnitudes como la altura o la velocidad de la esfera (PG2, CG1, CG2). Es decir que para este grupo de docentes existe un interés en estudiar la fase de lanzamiento o caída que anteceden el rebote, con condiciones iniciales de velocidad y altura no nulas. Como lo discutimos en el análisis de contenido, existe en efecto una relación entre la fuerza ejercida por el lanzador y la velocidad adquirida por la esfera, que la hace partir con una velocidad de caída a una altura inicial (z_0) y que por lo tanto modificará su velocidad en el punto justo antes de llegar al suelo. La velocidad de la esfera será mayor que en el caso de caída libre.

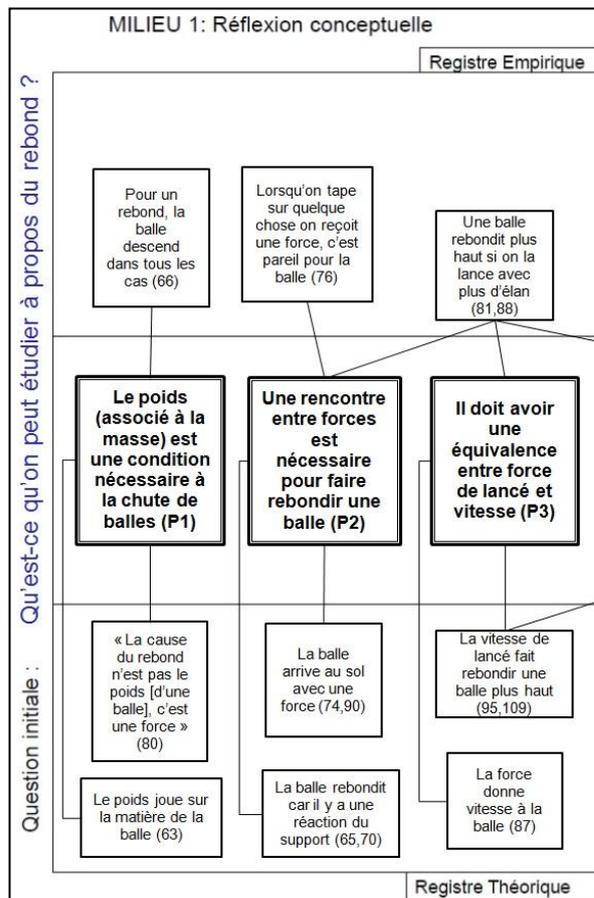
Si estudiamos el ejemplo del grupo PG2, observamos que el grupo construye una primera relación entre la fuerza de lanzamiento y la velocidad de la esfera a través, entre otras cosas, de la noción de “impulso” como una consecuencia de la discusión sobre la necesidad de la intervención del peso para la caída de las esferas (P1) y el estudio de la acción de las fuerzas en el nivel del suelo (P2). Así lo muestra el Esquema 10, donde se presenta el fragmento del espacio de condicionantes correspondiente al trabajo de este grupo en el medio conceptual. Estas construcciones muestran de forma general, el reconocimiento de la necesidad de una fase de caída y la intervención de fuerzas para el movimiento, relaciones de equivalencia entre fuerza y lanzamiento y velocidad de la esfera y por último velocidad de la esfera.

Para el grupo PG2, la noción de fuerza juega un rol importante, su intervención es considerada en la fase de caída (“la fuerza con la que llega la esfera”) y en la fase de choque de la esfera contra el suelo (fuerza de reacción). En el siguiente fragmento (Tabla 7) se observa la discusión sobre la interacción de las fuerzas como una razón del movimiento de la esfera.

63	L3 : oui mais, le rebond ce n'est plus le poids justement, enfin, le poids ça va être sur la matière des balles, - toujours que ramène dans les balles - mais elle va rebondir pas à cause du poids, elle va rebondir parce qu'il y a une réaction du support en fait
66	L2 : oui, mais il doit avoir quand même le poids qui la fait descendre –oui - en tous les cas
67	L3 : mais c'est quand le rebond... oui bon... si elle rebondit plus après bien sur... oui
68	L2 : il y a poids et il y a... ouais...
69	L1 : euh la force euh...
70	L3 : c'est la réaction du support, ça peut être aussi
71	L2 : la réaction du support ?
72	L3 : oui
74	L3 : euh ...ah c'est par rapport au poids de la balle oui, avec la même force que la balle elle arrive elle (...) c'est de la même façon qu'on tape sur quelque chose, en fait l'objet va nous renvoyer la même force qu'on a donnée, c'est la même chose pour la balle, en fait.

Tabla 7 Fragmento de discusión donde se evidencia la intervención de la noción de fuerza (en este caso de la reacción del suelo)

Del fragmento anterior, observamos igualmente que la compensación de fuerzas es evocada, en particular aquellas asociadas al peso y la reacción del plano, surgen como necesidad durante la construcción de los problemas P2 (estudio del choque), construcciones que acompañan en gran parte a los problemas P3 (ver Esquema 8, columnas P2 y P3).



Esquema 10 Fragmento del espacio de condicionantes del grupo PG2 (medio 1)

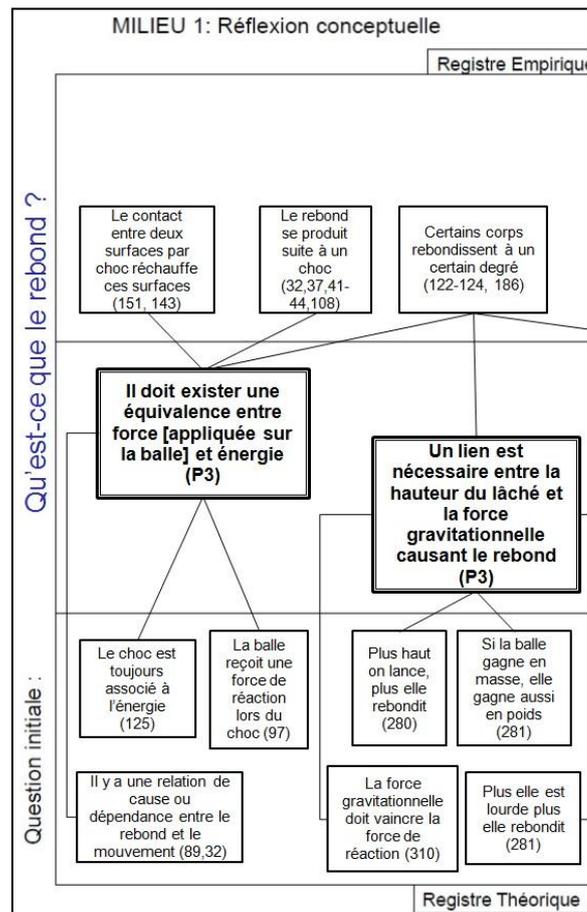
La discusión en esta primera fase a propósito de las fuerzas, lleva a los docentes del grupo PG2 a asociar la fuerza de lanzamiento con ciertas magnitudes como la velocidad y la energía cinética en la etapa terminal del medio 1 (Esquema 10). El siguiente fragmento de interacciones verbales (Tabla 8), sugiere que dentro de sus discusiones se da en primer lugar la separación del “peso” y la “fuerza” (asociada a la fuerza de lanzamiento), luego el impulso con el que es lanzada la esfera es relacionado con la velocidad de la misma, es decir, se realiza una asociación **fuerza de lanzamiento y velocidad** y se le atribuye una posible influencia sobre el rebote. Relación que tiene lugar, y que se describe en términos del trabajo (concepto físico) realizado por el lanzador sobre la esfera (ver análisis de contenido).

79	L2: <i>on parle de forces de toute façon</i>
80	L1 : <i>oui / ce n'est pas un poids, c'est une force ?</i>
81	L3 : <i>non, c'est parce qu'il y a le poids, et il y a la vitesse aussi, plus on va donner de l'élan à la balle, plus elle va rebondir plus haut, pour un même poids (...)</i>
83	L2 : <i>donc on pourrait très bien, étudier pour des vitesses différentes, la hauteur du rebond, et pour montrer que justement c'est la vitesse que... qui est une des composantes de la hauteur du rebond, quoi</i>
85	L1 : <i>mmm... et la vitesse c'est la force aussi avec laquelle tu... ou c'est différent ?</i>
86	L2 : <i>la vitesse, oui quand elle monte euh</i>
87	L3 : <i>oui, ça dépend de la balle –oui - de la force que tu mets, ça donne de la vitesse à la balle en fait, l'élan avec lequel tu jettes la balle, en fait (...)</i>
89	L1 : <i>la force avec laquelle tu la lances ?</i>
90	L3 : <i>oui, la force avec laquelle elle arrive sur le support pour rebondir en fait / bah oui, en fait c'est l'énergie cinétique...non ? (...)</i>

Tabla 8 Ejemplo de fragmento de intercambios para el grupo PG2 evidenciado para la construcción de una relación necesaria entre fuerza y velocidad.

El ejemplo anterior, evoca una introducción de la magnitud altura del rebote en la fase posterior al choque (línea 83). Esto corresponde a una tercera idea general: el estudio del rebote a través de la magnitud altura. Hemos percibido otras formas de introducir el estudio de esta magnitud, en particular gracias a la altura de caída, en la fase previa al choque, como es el caso de los grupos CG1 y CG2. En el espacio de condicionantes elaborado para el grupo CG1 (Esquema 11), se observa una necesidad inicial de equivalencia entre la fuerza de reacción y la energía transferida a la esfera. Se evoca entre otras cosas la aparición automática del rebote luego de haber sufrido un choque. El hecho que no todos los rebotes se dan a una misma altura, la idea que entre más alto se lance la esfera rebota mejor, y la confrontación evocada entre fuerza gravitacional y fuerza de reacción, son algunos de los elementos que nos llevan a inferir una asociación entre la **fuerza gravitacional y la altura de caída** (relación no constatable en nuestra escala de medición), en lugar de asociar por ejemplo, la altura con la velocidad de la esfera justo antes del choque o la altura con el tiempo de caída (relaciones que demostramos en el análisis de contenido y que pueden estudiarse por ejemplo a través de materiales de grabación). Esta forma de pensar es coherente con la idea que tienen algunos estudiantes de que un cuerpo está mayormente atraído por la Tierra cuando se encuentra más cerca de ella (ver por ejemplo Halloun & Hestenes, 1985).

Este tipo de construcciones de los docentes pueden ser constatadas a través del Esquema 11 que presentamos a continuación



Esquema 11. Fragmento del espacio de condicionantes del grupo CG1 (medio 1)

Para estos docentes la conservación de la energía no parece explicarse en términos de velocidad, porque esta magnitud no se menciona explícitamente. Para ellos, la conservación se juega a nivel de la energía de la esfera asociada al efecto de dejarla caer desde una altura determinada sobre la altura del rebote. En efecto, como lo hemos discutido la conservación de la energía mecánica puede relacionarse con la altura, mediante la energía potencial y con el cuadrado de la velocidad, mediante la energía cinética; cada uno de los casos anteriores asociados a la masa del cuerpo respectivo. En el contexto de análisis del grupo CG1, **parece favorecer un análisis de la variación de la energía potencial**. Posiblemente esta idea pueda asociarse con el razonamiento que tienen algunos estudiantes de que la fuerza de gravedad solo actúa en cuerpos en reposo, lentos o pesados (Kavanagh & Sneider, 2007)

Para concluir las reflexiones en torno a la primera tendencia del medio 1, vale la pena señalar que en el transcurso de esta primera etapa, las preguntas sobre la causa del rebote y las posibles influencias se hacen presentes de manera más o menos recurrente, sobre todo con lo relacionado con las influencias. En particular, en este primer grupo de ideas se muestra una focalización sobre el movimiento de la esfera en términos de altura, velocidad, fuerza, energía, etc.

Concretamente, dos tratamientos diferenciados de la intervención de la fuerza, percibidos gracias a las magnitudes asociadas pueden sugerir ciertos escenarios conocidos a lo largo de la historia de las ciencias. En primer lugar, **la introducción de la velocidad de la esfera mediante la fuerza de lanzamiento**, evoca una perspectiva cartesiana de contacto instantáneo (entre la esfera y el suelo) de una conservación en términos de velocidad, esta última siendo finita y determinada por la cantidad de la fuerza de lanzamiento aplicada a la bola (aparentemente independiente de la naturaleza de la esfera o de la naturaleza de la superficie), despreciando las magnitudes asociadas al choque (deformación de la esfera, elasticidad...etc). En esta primera tendencia no son perceptibles las explicaciones sobre el cambio de la velocidad, que podría asociarse a la idea de aceleración; solamente se asigna una cantidad finita de velocidad en función de la fuerza ejercida sobre la esfera. Una idea de conservación de energía cinética asociada en su una forma simple a la norma de la velocidad (considerando la masa constante) puede ser coherente con este modelo.

Por otra parte, en la asociación presente entre la altura de caída y la fuerza gravitacional y su influencia sobre el rebote se admite un contacto instantáneo (entre la esfera y el suelo), pero el movimiento se estudiaría en términos de la altura, su valor finito determinado por esta (por ejemplo: a mayor altura, mayor rebote). La transferencia de energía propia de la esfera hacia el suelo se ve compensada por el movimiento (o la energía) que esta puede ganar del suelo gracias al choque.

Segundo grupo de tendencias de construcción en el medio 1: focalización sobre la esfera

Retomemos el Esquema 8, es decir la descripción global de las dinámicas de construcción para el total de los grupos en el medio didáctico 1, con el objetivo de observar el segundo grupo de tendencias que hemos identificado. A este grupo pertenecen preguntas iniciales cerradas o más enfocadas (que en la primera tendencia), entre estas se encuentran: ¿Qué provoca la variación del rebote? (PG5) o ¿Qué puede influenciar en el rebote? (CG3). No obstante, también existen en este grupo preguntas más abiertas sobre todo aquello que puede evocar el rebote (PG1) o la definición del mismo (PG4). Allí se observa un segundo agrupamiento importante de construcciones en la columna de problemas P1 (influencia de magnitudes constantes y propias a la esfera) a la cual asociamos una focalización sobre el objeto (esfera).

Las orientaciones de este segundo grupo obedecen, por ejemplo, a una dependencia establecida entre el rebote y el material de constitución de la esfera (PG1 y PG4), o a una relación entre magnitudes asociadas a la esfera como la masa y el volumen, entre otros. Una explicación se muestra recurrente: para varios docentes **“una esfera ligera rebota mejor que una esfera pesada”**, a la que posiblemente pueda asociarse la idea frecuente de que los “cuerpos pesados caen más rápido” (ver p. ej. Kavanagh & Sneider, 2007). Como vimos en el análisis de contenido, desde el punto de vista científico, la masa no influye sobre la velocidad de la bola (justo antes de chocar el suelo) y durante el choque la fuerza neta resultante (es decir la suma vectorial entre el peso y la fuerza

de reacción) se estima independiente a la masa de la misma⁶⁸ (que se supone constante a lo largo de sus rebotes). Lo anterior considerando una primera aproximación donde la fuerza de reacción se estima constante.

Como ya lo anunciábamos, en un modelo más preciso la explicación de la intervención de las diferentes fuerzas asociadas al choque, en el contexto de una focalización sobre la esfera, requiere la consideración de otras fuerzas como aquellas asociadas a la elasticidad de la esfera y a la fuerza de rozamiento viscosa. Estas son entre otras cosas, las implicaciones de calcular el coeficiente de restitución “e” para este nivel de análisis⁶⁹. Como ya lo hemos anunciado, el estudio de la elasticidad y del rozamiento es difícil en el contexto de nuestra formación, debido a que el nivel de precisión de los instrumentos ofrecidos a los docentes no permite evidenciar explícitamente mediante la medición las posibles relaciones asociadas

Como un ejemplo de esta tendencia de focalización sobre la esfera, observemos los argumentos del grupo PG1. Estos justifican la necesidad de la intervención del material de la esfera en la práctica desarrollada. El fragmento del espacio de condicionantes elaborado para este grupo (ver Esquema 12), pone en evidencia la asociación entre rebote y resorte, mediante la interacción de condicionantes tanto teóricos como empíricos que asocian preferencialmente el movimiento descrito por el resorte y su semejanza con el movimiento en el rebote. No obstante, no se desconoce la importancia del objeto y se resalta (como es el caso para los grupos CG3, PG4), el hecho o condicionante empírico de que esferas de diferente material rebotan de diferente manera, aun así, la conservación de la forma de la esfera no parece ser una preocupación principal para este grupo. Así lo sugiere el fragmento de la Tabla 9 Fragmento de intercambios del grupo PG1, que sugiere la asociación entre rebote y resorte desarrollado. Estos argumentos contribuyen a la necesidad de la intervención de la materia en el rebote.

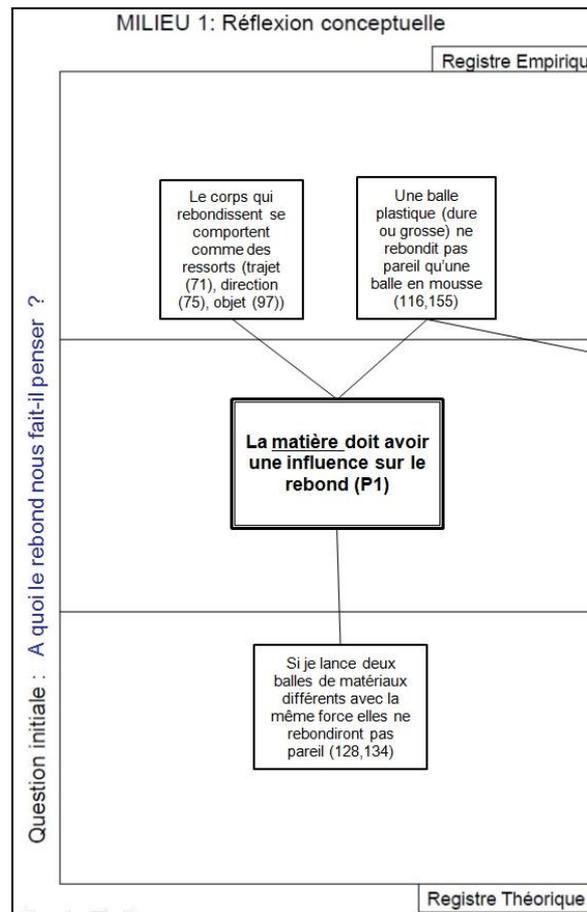
71	L1: non, ressort, je ne sais pas pourquoi mais -ressort ?- oui, il est en courbe sinus enfin...comme ça
72	Des lignes brisées tu veux dire?
73	L3 : vas-y, vas-y !
74	L2 : non, pour moi le rebond je vois une courbe comme ça
75	L3 : ah on n'a pas mis de direction, mais bon, direction
76	L2 : sinusoïdal
77	L1 : carrément sinusoïdal (...)
80	mais, tu vois, l'amplitude pour moi c'est pareil une sorte de.... sinusoïdale(...)
97	L3 : donc, ça serait un objet balle et ressort, ça mais fait penser à -pour moi c'est plus... ce n'est pas l'objet le ressort uniquement- c'est pour moi un ressort
99	L2 : mais, pour moi c'est ça, en fait ça va ensemble
100	L3 : oui c'est ça ... c'est cette forme là, ça m'a fait penser...

Tabla 9 Fragmento de intercambios del grupo PG1, que sugiere la asociación entre rebote y resorte desarrollado. Estos argumentos contribuyen a la necesidad de la intervención de la materia en el rebote.

⁶⁸ La fuerza de reacción del plano es proporcional al peso (y por lo tanto a la masa) cuando se estima el peso como la única fuerza que actúa sobre la esfera en la caída (fuerzas de rozamiento despreciables). Para una velocidad (v_0) de la esfera al llegar al suelo, si el peso aumenta, la fuerza de reacción también aumenta; se estima así que la proporción calculada entre \vec{R} y \vec{P} se mantiene, es decir la norma de \vec{R} sería superior a la norma de \vec{P} (ver “Fase de choque”: análisis de contenido)

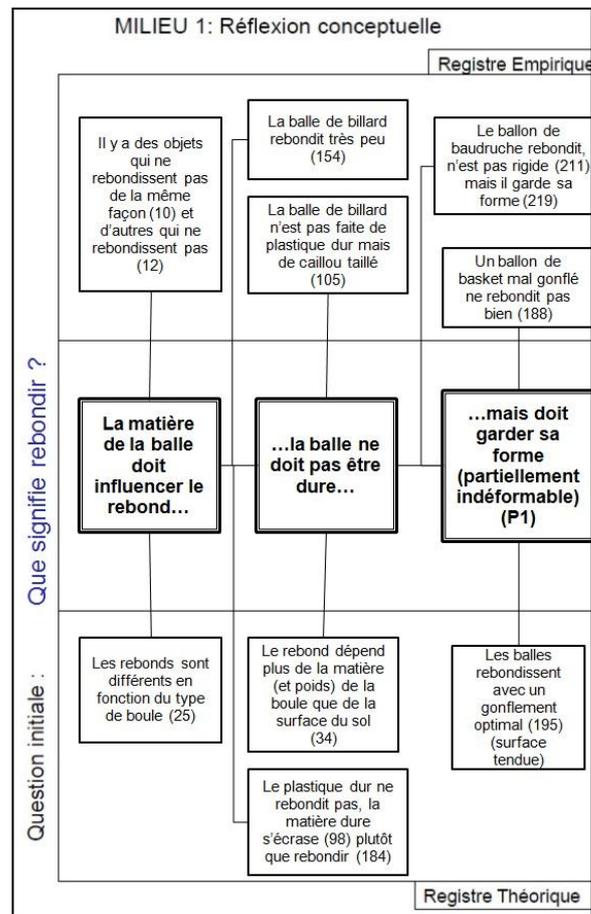
⁶⁹ Un ejemplo de modelización puede verse en : http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/teoria/A_Franco/cinematica/restitucion/restitucion.htm (consultado el 9 de septiembre de 2014)

La asociación rebote-resorte evoca sin duda el gran principio de resorte propuesto por Leibniz, aunque de manera superficial ya que estos argumentos no son desarrollados con profundidad por este grupo. En esta situación los docentes recurren a referencias de la enseñanza secundaria evocadas de memoria. Estas ideas no parecen influenciar de manera particular las explicaciones de los docentes pero hacen parte de los elementos que inferimos constitutivos de la necesidad de la influencia de la materia, debido a la asociación tanto del comportamiento del resorte (como objeto), como de su movimiento. Otros elementos acompañan la creación de necesidad, como podemos observar en el Esquema 12.



Esquema 12 Fragmento de espacio de condicionantes del grupo PG1 (medio 1)

No obstante, en el trabajo de otro de los grupos, si se desarrollará la idea de que el objeto recupera su forma inicial, sin hacer necesariamente una referencia explícita al resorte. Hemos constatado una primera aproximación bajo los términos de la necesidad de una esfera parcialmente “indeformable” Recordemos que el estudio de la elasticidad proporciona elementos explicativos para comprender el rebote, en un contexto de causas, pero que representa en nuestro contexto de formación una magnitud difícil de estudiar debido a las condiciones materiales, notablemente aquellas de medición. En todo caso, observamos una evolución progresiva en la creación de la necesidad de la intervención de la materia por el grupo PG4 (ver Esquema 13).



Esquema 13 Fragmento de espacio de condicionantes del grupo PG4 (medio 1).

Los primeros argumentos utilizados por este grupo están centrados en las diferencias de rebote con respecto al tipo de esfera. Posteriormente, evocaciones a hechos empíricos, llevan a los docentes a anticipar que una bola de billar rebota poco, por lo que desligan del rebote la condición de dureza. Esto da lugar a la discusión sobre una superficie que recupera su forma gracias al inflado óptimo de algunos balones, lo que aproxima de forma apropiada a la idea de la elasticidad como una propiedad necesaria en el rebote, como lo muestra el fragmento de la Tabla 10.

210	<i>L1 : ben... pas forcément parce que si tu regardes un ballon de baudruche ou un ballon que tu gonfles, la surface elle n'est pas rigide et ça rebondit ...euh</i>
212	<i>L2 : nan mais rigide, elle veut plutôt dire tendue, oui, c'est ça</i>
213	<i>L3 : elle ne veut pas dire rigide</i>
214	<i>L2 : tu vois ce que je veux dire -oui- un truc ...</i>
215	<i>L1 : pas déformable alors.</i>
216	<i>L2 : c'est ça</i>
217	<i>L1 : une balle indéformable ?</i>
218	<i>L2 : oui/ Parce que le ballon, un ballon baudruche étant donné qu'il est rempli d'air, tu ne peux pas vraiment le déformer donc il garde toujours sa forme</i>
220	<i>L1 : ben si, parce que quand t'appuies un peu dessus t'arrives quand même à enfoncer relativement ton doigt, même si ce n'est pas beaucoup, il n'est pas complètement indéformable, -et ça rebondit pas très bien</i>

Tabla 10 Fragmento de intercambios del grupo PG4 sobre la necesidad de un cuerpo parcialmente indeformable, que aproxima a los docentes a la idea de elasticidad.

Estos argumentos nos llevan a ubicar las construcciones realizadas por estos dos últimos grupos en una lógica asociada a una focalización en la esfera que explica el rebote mediante la naturaleza.

Una posible variación de esta focalización se refiere a la relación entre el peso y la masa y el rol que cumple en el movimiento de caída libre y el movimiento del rebote. Presentamos un último ejemplo: el grupo CG3, para describir con más detalle este tipo de construcción. En el Esquema 14 se puede observar que uno de los condicionantes teóricos se relaciona con la **denominación del peso como fuerza gravitacional**⁷⁰, idea que por su parte, dificulta la comprensión de la fuerza como el efecto de la presencia de un cuerpo en el campo gravitacional (Morrison, 1999), en las situaciones donde se requiere.

La caída libre, para este grupo de docentes, sería un movimiento que le permitiría a los cuerpos alcanzar el suelo, por el que se sentiría atraído, gracias al peso (entendido como fuerza gravitacional) con una magnitud que depende de la masa del cuerpo (los docentes evocan así, la relación $\vec{P} = m\vec{g}$). Sin la aplicación de otra fuerza sobre el cuerpo, éste permanecería en el suelo. Una fuerza adicional ejercida sobre la esfera sería necesaria para generar el rebote. En efecto, como lo desarrollado en el análisis de contenido, el análisis del choque en términos de fuerzas aplicadas sobre la esfera, se requiere de la intervención del peso (\vec{P}) y la fuerza de reacción (\vec{R})

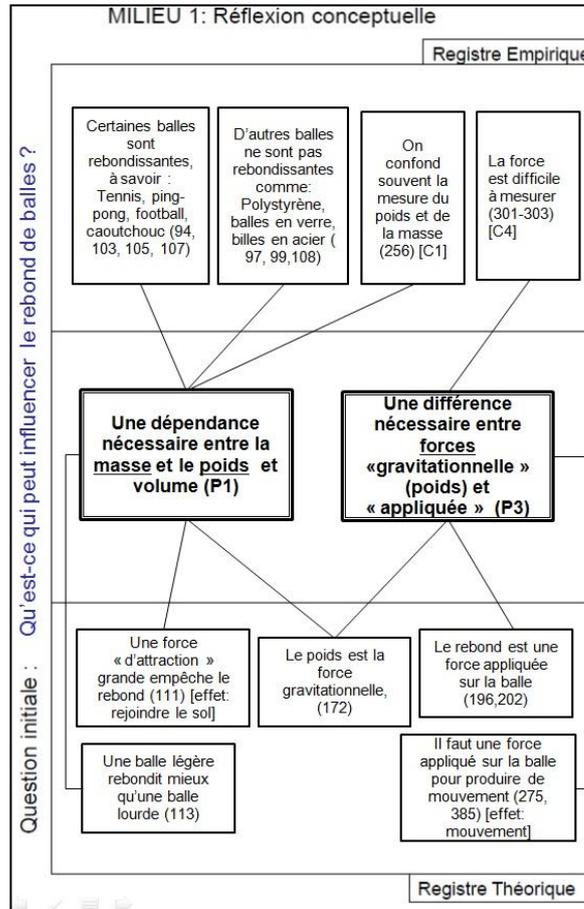
Por medio de esta idea este único grupo de docentes justifican **que las esferas pesadas no rebotan**. Por lo que una relación indisoluble entre masa y peso se hace necesaria. Algunos ejemplos de argumentación se presentan en el siguiente fragmento:

108	L5: <i>ah ya... ¿un balón rebota?</i>
109	L3 y L2: <i>¡no!</i>
110	L3: <i>por la masa /y el peso. La tierra le ejerce mucha fuerza, y entonces por eso no... Eh / impide el rebote / o sea, entre más masa tenga, va a tener más peso / la fuerza de atracción va a ser mayor / lo que va ocasionar que no produzca rebote.</i>
113:	<i>entre menos peso y menos masa tenga, va a ser mayor el efecto del rebote...</i>

Tabla 11 Fragmento de intercambios del grupo CG3, que justifica la necesidad de una relación entre la masa y el peso.

Para concluir la descripción de esta segunda tendencia (focalización sobre el objeto), observamos que las preguntas generadas en el transcurso de estos tratamientos se relacionaron con el rebote de esferas de diferentes tipos, las posibles influencias para estudiar en el rebote, estas últimas representan un interés común con la primera tendencia (focalización sobre el movimiento), en particular el cuestionamiento sobre la influencia del peso o de la fuerza de lanzamiento.

⁷⁰ Entendida como la fuerza de atracción ejercida por la Tierra hacia otros cuerpos másicos (terrestres o celestes) que se encuentren a una distancia dada.



Esquema 14 Fragmento de Espacio de condicionantes del grupo CG3 (medio 1).

Finalmente, cabe señalar que la magnitud tiempo no es explícitamente tratada por los docentes. Por otra parte, ninguna otra conservación aparte de la forma de la esfera ha sido mencionada por ellos, hecho que parece marcar una diferencia con respecto a la primera tendencia. La ausencia de criterios para calificar el rebote nos brinda razones para pensar que el análisis del rebote se desarrolla de forma local centrando las explicaciones en el objeto (esfera). Algunas de estas ideas persisten en el medio 2 propiciando la proposición de relaciones particulares, como lo veremos en la siguiente sección.

Medio didáctico 2

Los procedimientos que hemos utilizado para el análisis del desempeño de los docentes en el medio 2 son idénticos a los del medio 1. Es decir, el uso de las macro estructuras y los espacios de condicionantes asociados a cada uno de los grupos. La Tabla 12 relaciona la tipología de problemas construidos por los docentes (revelados por los espacios de condicionantes) a partir de los problemas identificados (revelados por las macro estructuras) durante la inmersión en el medio didáctico 2.

La búsqueda de una relación entre dos magnitudes físicas (problema P5) es percibida por la totalidad de los grupos que accedieron al medio 2 (7 de 8 grupos analizados). Dado que este problema no había sido

identificado por los grupos en el medio 1 (a excepción de 1 grupo), se puede suponer que la percepción y construcción del problema P5 es inducida por el medio 2. Por otra parte, cabe notar que ningún problema de tipo P2 es tratado (percibido o construido) dentro del medio 2. El estudio del choque (presente en el medio 1) parece servir de apoyo (o intermediación) para la construcción de problemas de otro tipo, abordables de forma experimental.

GRUPO	MACRO-ESTRUCTURAS : problemas abordados	ESPACIO DE CONDICIONANTES: problemas construidos
CG1	P1 - P5	P1
CG2	P5	P5
CG3		
PG1	P1 – P3 - P4 - P5	P1 - P4
PG2	P3-P1 P5	P5
PG3	P5	P5
PG4	P3 - P1 - P5	P1 - P5
PG5	P1 - P4 - P5	P4 - P1 - P5
TOTAL	17	11

Tabla 12 Descripción del medio 2 mediante los problemas percibidos (macro estructuras) y problemas construidos (espacios de condicionantes y necesidades)

Al examinar el paso entre problemas abordados y problemas construidos constatamos una construcción del 65% de los problemas percibidos. Al igual que en el medio 1, el hecho que el problema sea abordado no implica una construcción y el paso de una categoría a la otra se realiza aproximativamente en las mismas proporciones. No obstante, los problemas construidos en el medio 2 son diferentes a aquellos construidos en el medio 1: en el medio 2 se trata de la construcción de problemas de tipo P5 (construcción de relaciones entre magnitudes: $5/8$) mientras que en el medio 1 no se dan construcciones al respecto. La construcción de problema P1 conserva la misma proporción en el medio 2 que en el medio 1, los problemas de tipo P4 (criterios de evaluación de la calidad del rebote) son construidos en todos los casos en los que son abordados (lo que fue el caso para el problema de tipo P2 en el medio 1).

Con respecto a la presencia de los condicionantes y su interacción con la identificación y la construcción de problemas constatamos la siguiente tendencia: para la mitad de los grupos los resultados obtenidos se muestran contradictorios a los resultados esperados. La intervención de este condicionante en el problema P1 (influencia de magnitudes constantes y propias a la esfera) revela la creación de necesidades tales como la no intervención de la materia en el número de rebotes, que a ciertos docentes (PG4) se les dificulta admitir como resultado. Es

decir, esta evidencia se muestra contra-intuitiva en concordancia con lo discutido anteriormente (ver “fase de caída”: análisis de contenido). Este hecho particular representa el paso de un problema P1 a un problema P5. Las intervenciones de los condicionantes más frecuentes en el medio 2, son relacionados en la Tabla 13, estos son identificables en los espacios de condicionantes mediante la codificación [Cn] (Ver anexo 2).

Condicionantes que participan a la construcción de problemas...	... relacionados con el medio 2
[C1] Demasiadas variables a considerar	P1, P5
[C2] Conocimientos disponibles de los profesores insuficientes	P1, P5
[C3] Los resultados experimentales contradicen los resultados esperados	P5, P1
[C4] Las magnitudes físicas no pueden ser medidas con el material disponible	P1, P5, P4, P3

Tabla 13 Intervención de condicionantes (más frecuentes) en el medio didáctico 2

El Esquema 15 muestra, como en el caso del medio 1, la descripción de la dinámica de los grupos (diferenciados por flechas de colores), en función de las necesidades propias de cada problema. Este esquema corresponde a la segunda parte del trabajo desarrollado por los docentes, es decir a las construcciones correspondientes al medio didáctico 2. Por esta razón la presentación del Esquema 15, difiere un poco de la presentación del Esquema 8.

Para la lectura del Esquema 15 hay que tener en cuenta que existen construcciones anteriores asociadas al medio 1 en función del tipo de problemas. Por esta razón, el punto de partida de cada una de las flechas no son las preguntas iniciales asociadas a este segundo medio, sino el tipo de problema donde termina el medio 1: el orden de aparición de las casillas sugerido por las flechas, representa el orden cronológico asignado a la creación de cada una de las necesidades. De esta manera, el Esquema 15 muestra que:

- ❖ Los grupos PG2 (color violeta) y CG1 (color azul), parten de la casilla P3, porque la última construcción evidenciada en el medio 1 corresponde a este tipo de problema, las siguientes construcciones se relacionan con los problemas P5 y P1 respectivamente.
- ❖ Los grupos CG2 (color verde) y PG3 (color amarillo), parten de la casilla P2, porque la última construcción evidenciada en el medio 1 corresponde a este tipo de problema, las siguientes construcciones corresponden al problema de tipo P5 para los dos casos.
- ❖ Los grupos PG1 (color naranja) y PG4 (color marrón), parten de la casilla P1, porque la última construcción evidenciada en el medio 1 corresponde a este tipo de problema, las construcciones subsiguientes también pertenecen a este tipo de problemas.

- ❖ El grupo PG5 (color rojo), no evidenció ninguna construcción en el medio 1, razón por la cual la flecha proviene de la pregunta inicial del medio 2. La primera construcción asociada a este grupo será de tipo P4, se sigue de una construcción de tipo P1 y llega finalmente a una construcción de tipo P5;
- ❖ El grupo CG3 no evidencia ninguna construcción dentro del medio 2

El número y agrupación de casillas en el Esquema 15 sugieren las tendencias de construcción de problemas desarrolladas dentro del medio 2. Es así como observamos una primera concentración de casillas en la columna P1 y una segunda en la columna P5. Estas tendencias ya se anticipaban en la presentación general de los resultados del medio 2. La primera gran tendencia se muestra como una continuación de los intereses desarrollados en el medio 1: la influencia de magnitudes físicas constantes y propias a la esfera (focalización sobre la esfera). En particular, se evidencia en el medio 2 cierto interés por una influencia no explícita ni clarificada entre la materia, la masa y el peso (PG1, PG4 y PG5). Por último, se observa el interés sobre la intervención de la materia con el fin de explicar la absorción la energía que produciría el rebote (CG1).

Observemos por ejemplo el caso del grupo PG4. Allí constatamos que el trabajo de construcción desarrollado en el medio 1 (Esquema 17) viene a ser cuestionado notoriamente por la constatación de los resultados experimentales. Esta situación lleva a los docentes a admitir la intervención de otro tipo de magnitudes en el rebote, idea que no había sido contemplada hasta ese momento en lo que a la creación de necesidades se refiere. De esta manera se da paso a la admisión de **la intervención del peso⁷¹ sobre la altura del rebote** (problema de tipo P5).

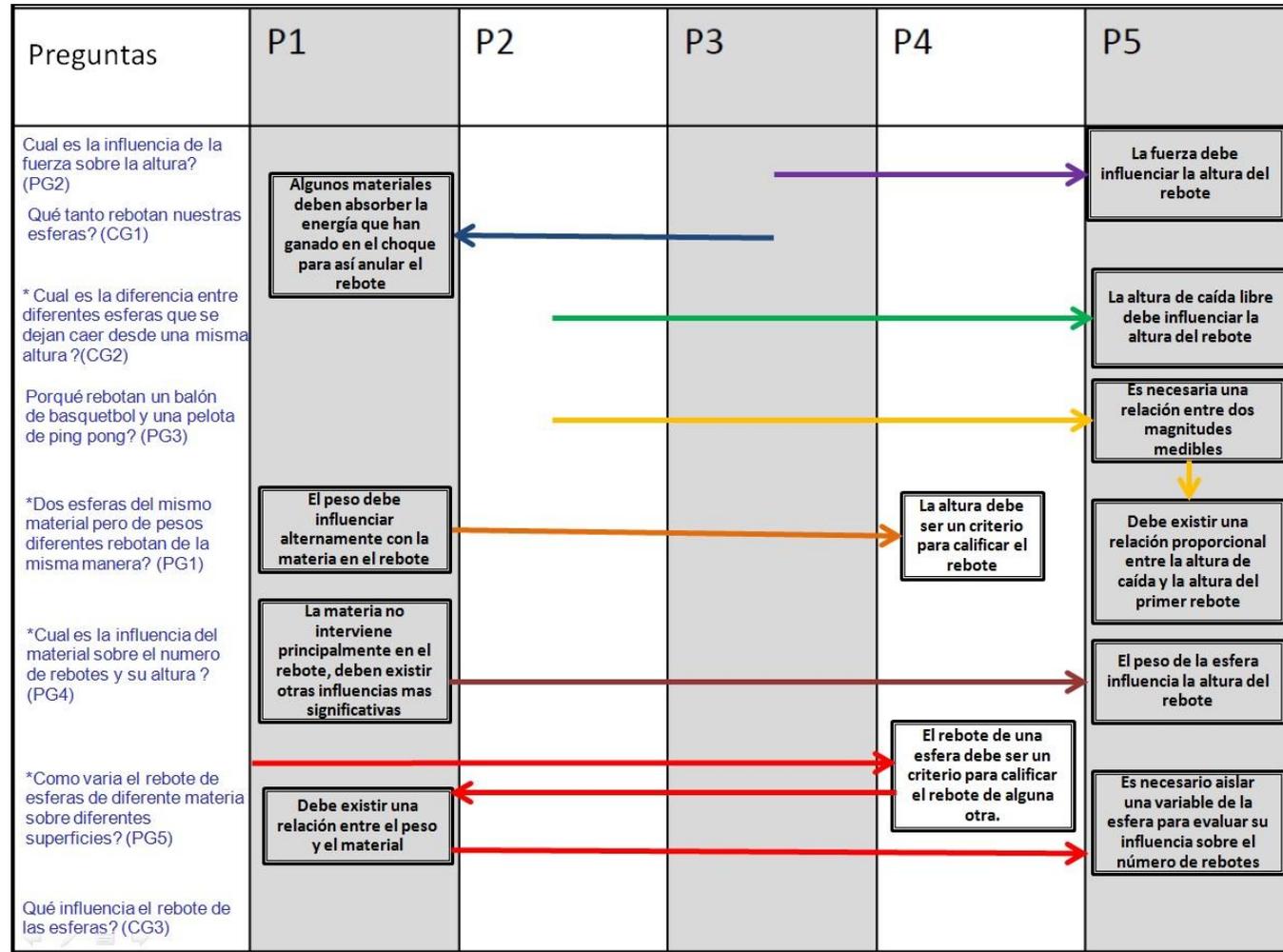
En el Esquema 17 puede observarse que mediante esta abertura hacia otros problemas los docentes pasaron al estudio de la influencia del peso (masa) sobre la altura de rebote, no sin encontrar dificultades en la resolución de este cuestionamiento. Así lo sugiere, por ejemplo, el fragmento presentado en la Tabla 11.

979	L3 : non mais, si on essaie de faire des conclusions de ce qu'on a fait là.../ moi, je dirais que la matière finalement n'intervient pas
981	L2 : en fait il n'y a pas que la matière ! Il y a d'autres facteurs, et en particulier le poids... je pense
983 :	L1 : c'est peut-être pas tellement la matière qui... - c'est peut être sur le poids- plutôt le poids de la matière en question, parce que en fait tu peux avoir une balle en caoutchouc mais si elle est pleine (...)
(...)	
990	L2 : mais surtout c'est qu'on n'arrive a rien là !
991	L3 : moi, ce que j'en concluais pour moi, c'est que euh la matière n'est pas le facteur primaire qui influencera le rebond ça sera plutôt le poids, après ça viendra peut être

Tabla 14. Fragmento de discusión del grupo PG4 que ilustra la abertura hacia otras posibles influencias diferentes a la "materia".

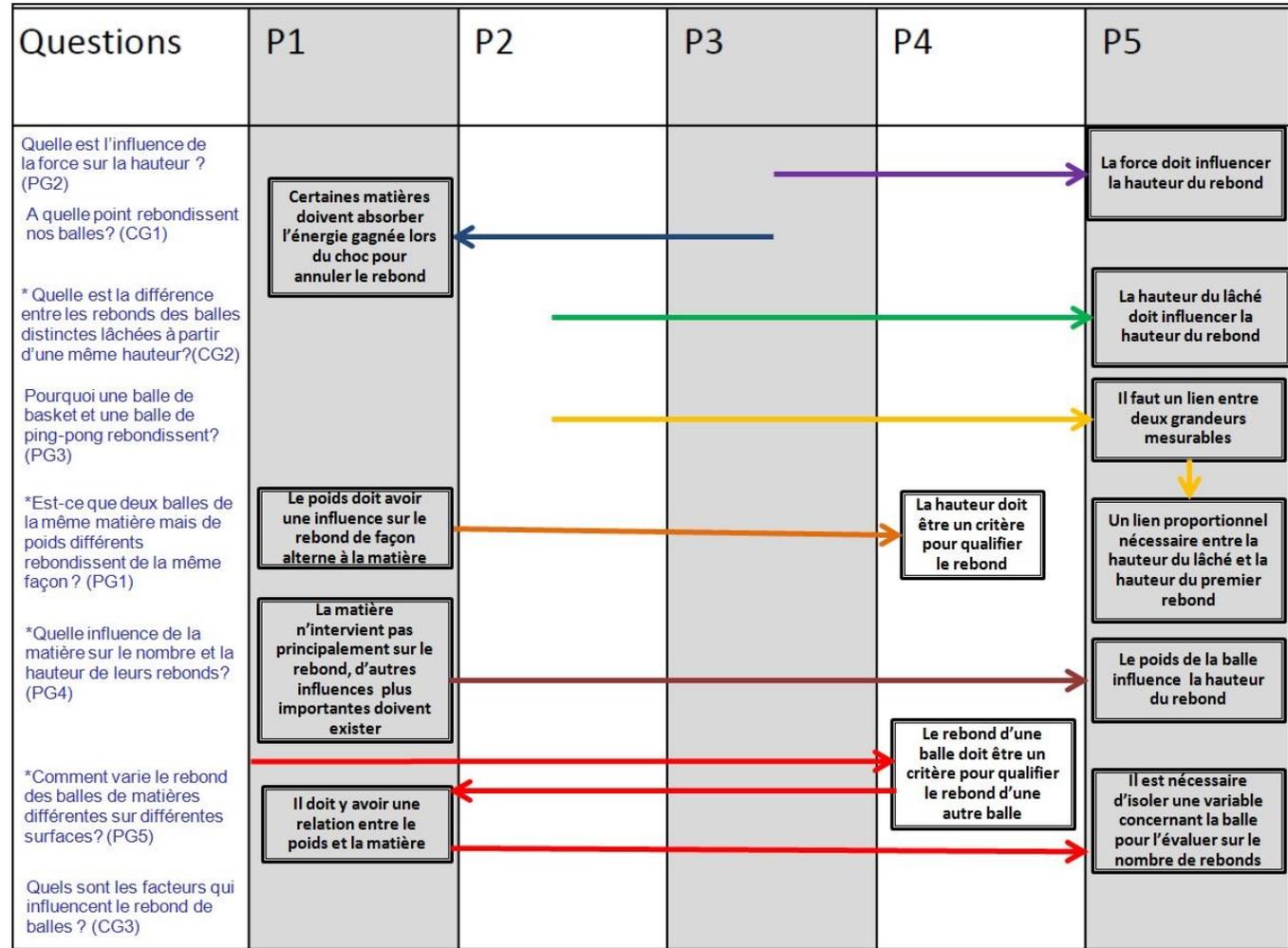
⁷¹ Asociamos en el caso de este grupo, la denominación de "peso" a la magnitud masa, debido de una parte, a que la fuerza gravitacional no es evocada durante la práctica del grupo y por otra parte, por el espacio significativo dedicado a la materia de la esfera.

P1	Influencia de las magnitudes físicas constantes para una esfera dada.
P2	Estudio del choque (por ejemplo entre la esfera y el suelo).
P3	Influencia de magnitudes variables para una esfera dada o constante por una esfera dada pero no propia a la esfera.
P4	Elección de un atributo para caracterizar la calidad del rebote.
P5	Definición de una relación entre dos magnitudes físicas.

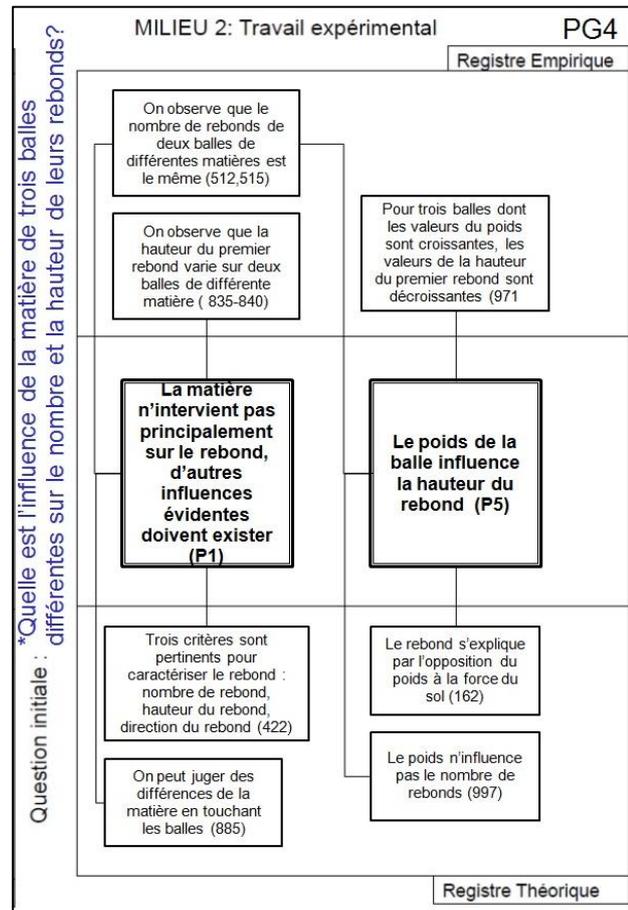


Esquema 15 (idioma español) Dinámicas de construcción de necesidades obtenidas a partir del análisis macro y micro de la práctica de indagación de los docentes (medio 2)

P1	Influence des grandeurs constantes pour une boule donnée et propres à cette boule
P2	Étude du choc (e. g. entre la balle et la surface)
P3	Influence des grandeurs variables pour une boule donnée ou constante pour une boule donnée mais non propre à la boule
P4	Choix d'un attribut pour caractériser la qualité du rebond
P5	Établissement d'un rapport entre deux grandeurs



Esquema 16 (idioma francés) Dinámicas de construcción de necesidades obtenidas a partir del análisis macro y micro de la práctica de indagación de los docentes (medio 2)



Esquema 17 Fragmento de espacio de condicionantes del grupo PG4 (medio 2)

En el fragmento de la Tabla 14 se observa una disociación entre la masa y la materia. La magnitud densidad, posible puente de asociación entre las dos nociones, no es en ningún momento evocada. Adicionalmente la idea de “vacío” o “lleno” tendría una relación con el peso (que asociamos a la masa por la idea de cantidad de sustancia) y no con la materia.

El ejemplo del grupo PG4 refleja el tratamiento de dos preguntas cuya pertinencia puede ser cuestionada, la primera (materia) desde el punto de vista de las condiciones materiales y la falta de una definición clara de la magnitud a estudiar (masa, densidad, elasticidad, etc). La segunda (peso) desde el punto de la falta de

distinción entre la cantidad de sustancia (masa) o la fuerza ejercida por el cuerpo por la Tierra⁷² y la confusión entre la influencia de la primera y/o la segunda sobre la altura del rebote ⁷³.

No obstante, el interés de los docentes se mantiene presente alrededor de estas construcciones de tipo P1. Caso contrario a los problemas de tipo P2 y P3, que no se hacen presentes en este medio. La creación de estos problemas en el medio 1 representa (a excepción de un grupo) una transición directa a los problemas de tipo P5. Pasemos entonces a la discusión sobre la construcción de los problemas de tipo P5. Como lo hemos anunciado y como veremos más adelante, en estas construcciones se mantiene el interés de trabajar con magnitudes asociadas al objeto (esfera) y aquellas asociadas al movimiento del mismo. Esto se hace perceptible mediante la elección de las magnitudes relacionadas, por ejemplo para el primer caso: peso y materia y para el segundo caso: fuerza de lanzamiento, altura de caída.

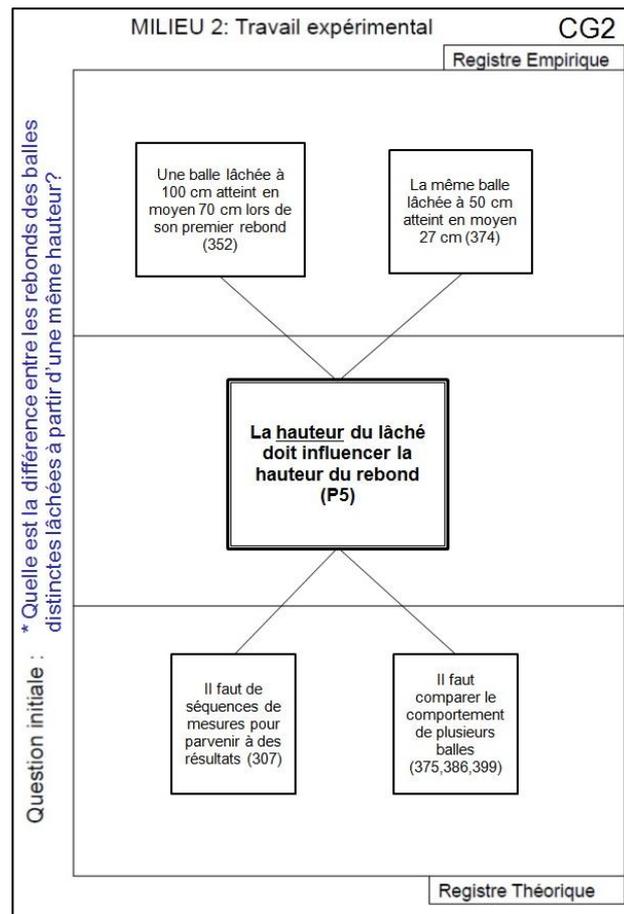
Retomando el Esquema 15, podemos observar que la mayoría de los grupos construye problema de tipo P5. En particular, la construcción del problema P2 (estudio del choque) en el medio 1 por los grupos CG2 y PG3, permitió el paso a una construcción de este tipo con una característica particular: la relación de una magnitud variable para una esfera dada evaluada sobre sí misma. En los dos casos se trató de la proporción de la altura de caída y la altura del rebote. Por el contrario, otros grupos (PG5 y PG4) se muestran interesados en la relación entre una magnitud asociada a la esfera y una magnitud para calificar el rebote (altura o número de rebotes).

Un ejemplo de construcción de la evolución de la altura sobre sí misma, se ilustra a través del Esquema 18 perteneciente a la construcción del grupo CG2 en el medio experimental. En esta figura observamos que la creación de esta necesidad se muestra influenciada por los resultados experimentales, disimulando en particular el interés puesto sobre la acción de fuerzas para explicar el rebote (medio 1), pero manteniendo su interés por estudiar el comportamiento de las esferas en función de la magnitud altura.

En el Esquema 18 se sugiere que la medición de la altura de rebote de una sola esfera soltada desde dos diferentes alturas contribuyó a que los docentes construyeran una relación entre dos magnitudes que puede llevar al cálculo del coeficiente de restitución. Lo anterior, evidentemente teniendo en cuenta el condicionamiento teórico que los docentes habían desarrollado en el transcurso del medio 1. El siguiente es un ejemplo de fragmento que evidencia esta construcción.

⁷² Generalmente cuando los docentes hablan de peso se están refiriendo a la masa de los cuerpos excepto en los casos donde se hace explícitamente la diferencia

⁷³ De acuerdo a lo discutido en el análisis de contenido, ni la velocidad ni el tiempo de caída dependen de la masa de la esfera, por lo tanto la masa no influiría la altura del rebote (ver fase del rebote propiamente dicho que es análogo a la fase de caída)



Esquema 18 Fragmento de espacio de condicionantes del grupo CG2 (medio 2)

De hecho, la relación entre las alturas se presenta como la única alternativa accesible a los docentes para llegar a este cálculo. Relaciones similares pudieron haberse construido a través de la medición de los intervalos de tiempo o el cálculo de las velocidades, esto si los docentes hubieran decidido, por ejemplo, recurrir al material de grabación audio o video. Es así como se observa:

391	L1: <i>profesor ¿qué voy a concluir? ¿A qué voy a llegar?</i>
392	L4: <i>a hacer las comparaciones</i>
393	L1: <i>bueno pero ahí ¿qué voy a concluir?</i>
394	<i>al soltar la bola desde 100 cm ¿qué pasa?</i>
395	<i>la deje caer a la altura de un metro y...</i>
396	L4: <i>el rebote, la distancia del rebote, ¿sí?</i>
398	<i>la segunda ya voy a escoger... ¿Qué se yo?... ¡el pin pon!</i>
399:	L1: <i>entonces voy a tener en cuenta si disminuyo o es más...</i>
400	L4: <i>primero / estoy haciendo comparaciones con tres pasos diferentes/ Con tres intervalos diferentes</i>
401:	L1: <i>¿la segunda caída es a la misma altura?</i>

Tabla 15. Fragmento de transcripción de intercambios del grupo CG2⁷⁴ donde se ilustra el interés sobre el estudio de la evolución de la altura de una misma esfera.

⁷⁴ En este fragmento todos los participantes son docentes en formación, la nominación “profesor” es utilizada por los integrantes del grupo para referirse a uno de sus colegas (docentes), y no al formador que dirige el taller. Esto no representa una relación de jerarquía entre ellos

En todo caso, constatamos que el tratamiento espontáneo por parte de los docentes colombianos de nociones como la altura y su asociación con la energía potencial y posteriormente la idea de una proporción de rebote que se recupera, pueden llevarlos al cálculo del coeficiente de restitución, aunque en este nivel “fenomenológico”, este cálculo parece más condicionado a la idea de una “influencia” que a la idea de una variación regular que da cuenta de la proporción de energía que guarda la esfera (ver parte de observaciones en el análisis de contenido). El siguiente fragmento así lo sugiere:

452	<i>Alcanzamos a hacerlo con la pelota loca y con el ping pong , la idea era que eran 3 bolas del</i>
453	<i>mismo tamaño para que no influyera tampoco esa variable en el experimento, sino que</i>
454	<i>fuera de materiales distintos, pero con aproximadamente el mismo tamaño. Alcanzamos a</i>
455	<i>ver que por ejemplo la pelota loca alcanzaba a recuperar el 70 % de su altura inicial y el</i>
456	<i>del ping pong, hasta aproximadamente un 50 %, pero no alcanzamos a concluir. Lo que sí</i>
457	<i>sabemos es que definitivamente si influye la altura, en esa forma en que se recupera la</i>
458	<i>altura inicial en que se lanza la bola.</i>

Tabla 16. Fragmento de conclusiones del grupo CG2, donde se puede identificar una relación con el coeficiente de restitución

Una situación similar se observa en el grupo de docentes franceses PG3, como lo refleja el fragmento de la Tabla 17: Puede observarse entre otras cosas, que este grupo pasa de dar importancia a la noción de influencia para pensar en la noción de proporcionalidad gracias a los resultados obtenidos experimentalmente. Consideramos así, que estas relaciones se inscriben aún en la construcción de leyes fenomenológicas, dado que en este caso como en el anterior estas construcciones se ven ampliamente influenciadas por condicionantes empíricos.

965	<i>L3 : Ensuite, on a eu une troisième question la hauteur de départ a-t-il une influence sur</i>
966	<i>l'amplitude du rebond ?</i>
967	<i>L0 : vous pouvez peut être préciser ce que vous appelez...</i>
968	<i>L3 : sur la hauteur du premier rebond, pardon</i>
969	<i>L0 : hauteur de lâché...</i>
970	<i>L3 : la hauteur de lâché a-t-elle une influence sur la hauteur du premier rebond ? , - oui - et après on est allé un peu plus loin, en fait/ mm comme vous nous l'avez demandé, a-t-il un rapport de proportion entre la hauteur du lâché du départ et la hauteur du premier rebond</i>
974	<i>L0 : c'est juste parce que je vous ai dit d'aller plus loin que vous avez trouvé ça ?</i>
975	<i>L3 : oui</i>
976	<i>L0 : bon, bien...</i>
977	<i>L0 : vous avez en gros cherché s'il avait une relation de proportionnalité ?</i>
978	<i>L3 : a vu d'œil ah -pour deux hauteurs différentes - non, mais...</i>
979	<i>L0 : hauteur initial proportionnelle, hauteur final proportionnelle à hauteur initiale /c'est ça que vous avez cherché?</i>
981	<i>L3 : En fait, ce qu'on a fait ce qu'on a pris une balle on a vu que là, elle rebondissait un peu près de la moitié, /si on la lancé dès haut, elle rebondissait aussi un peu près de la moitié, -donc il y avait une proportion - après on a appris une autre balle et elle rebondissait d'un tiers quoi - pareil dès haut d'un tiers</i>

Tabla 17. Fragmento de conclusiones expresadas por el grupo PG3, donde se puede identificar una relación con el coeficiente de restitución

Pasando a otras construcciones de tipo P5 (establecimiento de relaciones entre dos magnitudes) observamos por ejemplo a la necesidad de elegir una variable con respecto a la esfera para estudiar su influencia sobre el rebote.

El grupo PG5 designó inicialmente el tipo de superficie (en términos de material) como variable para estudiar su influencia sobre el número de rebotes de otras esferas, entendido esto último como criterio para evaluar la calidad del rebote⁷⁵. A lo largo de la experiencia los docentes llegan al consenso de que el número de rebotes de una bola de espuma es el mismo sobre tres superficies diferentes, también se encuentran con resultados inesperados como que la bola de billar rebota mejor de lo que ellos pensaban [C3].

604	<i>L2 : oui c'est qu'il y a une matière qui corresponde à chaque surface, qui est plus propice, oui, qui est plus propice au rebond sur une surface particulière, à chaque surface sa balle, voilà</i>
606	<i>L1 : en même temps la balle de tennis rebondit mieux tout le temps hein ?</i>
608	<i>L1 : oui, parce qu'elle est assez légère et ... oui... elle réunit les deux critères, elle est légère mais dure, et sans être trop dure non plus... un p'tit peu... Voilà... la balle de tennis est idéale,</i>
611	<i>L1 : oui, avec l'expérience on pourrait faire de balles creuses, on peut trouver des balles toutes dures mais...</i>
613	<i>L3 : on est un peu coincés là...</i>
614	<i>L1 : oui</i>
615	<i>L3 : il y a beaucoup de... beaucoup de variables à tenir en compte, et du coup c'est plus difficile de...</i>
617	<i>L1 : mais, après c'est en fonction de critères qu'on a choisi on s'est dit de prendre des grosses balles différentes, après on a choisi de petites balles de même poids et de matière différente aussi ...</i>
619	<i>ben, nous on est coincés nous...</i>

Tabla 18. Fragmento de transcripción de intercambios del grupo PG5 que ilustra la elección de variables y las dificultades encontradas al respecto.

Los docentes de este grupo encuentran más apropiado la variación de una magnitud asociada a la esfera y no al material de la superficie. También se percatan de la necesidad de que sea una sola variable. Por medio de este ejemplo, nos proponemos ilustrar que la construcción no solamente se sitúa con respecto a una noción exclusiva de la física sino también a la práctica experimental. La revisión de estas nociones parece necesaria para estos docentes, quienes a pesar de todo no se encuentran satisfechos con las respuestas que han elaborado. Lo anterior perceptible mediante expresiones como “*on est coincés*” que significa: “estamos atascados” (ver Tabla 18).

De las evidencias anteriores, cabe señalar que al tratarse de un problema de mecánica clásica, como lo discutimos en el análisis de contenido, podía esperarse de la parte de los docentes, el estudio de la trayectoria, de la posición de la esfera en función del tiempo y en consecuencia de su velocidad (media o instantánea) y también de su aceleración. Por razones asociadas a las posibilidades de medida, los docentes se limitaron con frecuencia a tomar medidas de posición (altura inicial o de caída, altura del rebote, etc.). La medida del tiempo transcurrido entre dos rebotes no fue prácticamente abordada y sin embargo, esta podía realizarse de una forma

⁷⁵ La elección del número de rebotes como criterio de calificación sobre la calidad del rebote, parecen desatender la imposibilidad de asignarle un valor concreto, debido a que este decrece en forma proporcional a la altura y que en un momento dado, ya no es posible seguir contando el número de rebotes (la altura decrece de forma a proporcional hacia el infinito).

suficientemente precisa (utilizando material de grabación de videos, por ejemplo). Los docentes recurrieron con frecuencia a la medición del número total de rebotes, sin embargo, esta medición es compleja debido a que los periodos de duración sucesivos del rebote disminuyen a lo largo del experimento.

Por lo anterior, cabría preguntarse sobre una posible preferencia de algunos docentes por la medida de magnitudes enteras frente a la media de magnitudes continuas. En lo que respecta a la medición o estimación de magnitudes relacionadas con la esfera, puede pensarse en su masa, su volumen, su dureza (al menos de manera cualitativa para este último caso). En cambio, la noción de elasticidad que se muestra crucial, no es conocida por los docentes.

Dada la identificación de prácticas y desarrollos experimentales que trascienden el contenido disciplinar, nos parece importante esclarecer algunas evidencias encontradas al respecto y desarrollar algunas reflexiones propias a la contribución de esta formación desde el punto de vista de conocimientos sobre la naturaleza de las ciencias, que en nuestro caso, se manifiestan espontáneamente en el ejercicio de las prácticas experimentales de los docentes haciendo parte de una cultura epistemológica “espontánea” (Desautel et al, 1993). Lo anterior nos lleva a preguntarnos sobre la posición de los docentes frente al desarrollo de cada práctica, es decir sobre la cultura epistemológica con la que cuentan para conducir las prácticas experimentales propias o de sus estudiantes. Como en el caso anterior, existen algunos ejemplos donde los docentes deben recurrir a este tipo de conocimientos y así, tomar decisiones sobre su práctica. De hecho, estas situaciones constituyen en ocasiones escenarios de frustración. En la siguiente sección proponemos una discusión más detallada al respecto.

Espacios de condicionantes inferidos y posible identificación de un Registro

Explicativo

En esta sección presentamos una síntesis de las construcciones realizadas por cada uno de los grupos. Apoyándonos en las evidencias recolectadas a través de los Espacios de Condicionantes, mostrados esta vez de forma completa, nos proponemos entender o por lo menos situar el desarrollo conceptual desarrollado por los docentes y sus tendencias de construcción.

De los trabajos anteriores, notablemente de las discusiones presentadas por Viard 2003, y del análisis de las formas de problematización posibles dadas en la historia, hemos aprendido que las explicaciones del fenómeno del rebote pueden desarrollarse bajo un interés “causal”, es decir, bajo mediante la búsqueda de las causas del rebote. El ejemplo sugerido a través de las reflexiones de Leibniz (y seguidores) sobre la búsqueda de las causas, ponen de manifiesto un interés por la conservación de la energía cinética (fuerza viva) como una consecuencia de la naturaleza elástica de los cuerpos “causa primera del choque”. En ese contexto, es posible asociar a esta forma de estudio, una forma de focalización sobre la esfera, propiedad que le permite rebotar o no (elasticidad y dureza). En contraposición, Viard propone la interpretación de Huygens del rebote, donde el interés radicaba en respetar la conservación de la cantidad de movimiento, razón por la cual se asigno a los cuerpos

que rebotan una condición de dureza. En este caso, aun cuando se habla de propiedades del cuerpo (esferas), el fin último no radicaba en explicar la causa del rebote sino en explicar la conservación. En el caso de los docentes observados, la necesidad de respetar una conservación no es mayoritariamente desarrollada, pero esta idea así presentada puede asociarse, probablemente de una forma discreta/disimulada, al interés por el movimiento de los cuerpos. Por el que hemos observado una movilización significativa en las actividades de los docentes.

Por esta razón, creemos que el interés de estudio posible en nuestro contexto trasciende el estudio de propiedades de dureza y elasticidad de las esferas bajo el cuestionamiento sobre las causas o la conservación del movimiento. En esta nueva perspectiva, atribuida sin duda por un carácter más abierto del enunciado propuesto, se manifiesta el estudio tanto de las esferas en términos de otras propiedades conocidas (masa, peso, materia, etc.) como del estudio de su movimiento (posición inicial, final, velocidad, aceleración, etc.).

El cuestionamiento de los docentes sobre las causas del movimiento puede traducirse en influencias de magnitudes físicas sobre el rebote (desarrollaremos con mayor precisión esta idea en la siguiente sección) tales como la fuerza de lanzamiento o la fuerza gravitacional, entre otras. El estudio de estas y otras influencias llevan a los docentes al estudio empírico de relaciones entre magnitudes (en general leyes fenomenológicas). En estas se tiene en cuenta tanto magnitudes constantes asociadas a la esfera (focalización sobre la esfera) como magnitudes variables (altura, velocidad, etc.) o constantes pero no propias a la esfera (p. ej. la fuerza gravitacional).

La construcción de estas relaciones no se hace de forma inmediata. Como vimos en el Esquema 8, la mayoría de los grupos inicia por el estudio de problemas P1, los problemas P2 y P3 se muestran como intermediarios, notablemente para la construcción de los problemas P5. Al final, las construcciones realizadas no son del mismo tipo ya que no responden a los mismos intereses, ni representan el mismo estado de progresión. Estas razones nos llevan a pensar que no todos los problemas pueden ser inscritos en un mismo plano.

Piaget y Garcia (1983), estudian una forma de paralelismo entre la evolución de nociones en física o conceptos pre-científicos a lo largo de la historia y el desarrollo psicogenético (p 39), sin centrarse en el contenido de las nociones sino en los “instrumentos y mecanismos comunes de su construcción⁷⁶”(nuestra traducción, p. 39). Los autores manifiestan que no es su interés buscar correspondencias entre sucesiones de las etapas del pensamiento científico, sino mostrar los mecanismos que permiten el paso entre periodos históricos análogos a la transición de un estado psicogenético al otro (p 41).

El primero de estos mecanismos, común a la historia de las ciencias y a las psicogénesis corresponde a un proceso general donde los conocimientos relacionados con una etapa anterior están comprendidos dentro de la etapa que lo supera. Con relación al segundo mecanismo los autores expresan:

⁷⁶ Naturaleza de los razonamientos, naturaleza de construcciones cognitivas (influencia del sujeto sobre la experiencia), doble proceso de diferenciación e integración y búsqueda de razones asociadas a estructuras, estadios secuenciales.

Le second mécanisme de passage (...) est un processus nous paraissant également de nature tout à fait générale: c'est celui qui conduit de *l'intra-objectal* ou analyse des objets à *l'inter-objectal* ou étude des relations ou transformations, et de là au *trans-objectal* ou construction de structures. Le fait que cette triade dialectique se retrouve en tous les domaines et à tous les échelons nous paraît constituer la principale acquisition à laquelle ont abouti nos efforts comparatifs (Piaget & Garcia, 1983, p 41)

Los autores igualmente aclaran que la generalidad de esta triada, así como el hecho de encontrarla tanto etapas globales como locales, constituye el mejor argumento de una epistemología constructivista (p 42).

Es interesante observar la forma en cómo este proceso se reproduce en los resultados de nuestro estudio. Como lo vimos en el segundo grupo de tendencias una focalización sobre la esfera tiene lugar, y se asemeja a la etapa "intra-objetal", involucrando magnitudes físicas (masa, peso, dureza) o nociones asociadas a la esfera (materia, rigidez, contenido, etc).

Como lo vimos en el primer grupo de tendencias, los docentes se interesaron por estudiar el movimiento de la esfera a través de la intervención de la fuerza, la velocidad, la altura de caída, etc. Para ello, algunos docentes se interesaron en las magnitudes variables asociadas la esfera (fuerzas que se aplican sobre ella, su velocidad, su altura respecto al suelo, etc), que implican salir del plano de la esfera y sugieren un interés en su evolución. Como lo veremos más adelante (ver numeral 2: "Frente a la elección de preguntas"), la búsqueda de las razones o respuestas a explicaciones "por qué" reposan en las relaciones entre magnitudes, cuyos indicios se observan en la aparición de problemas de tipo P3 y se refuerza por la influencia del medio experimental, en la aparición de problemas de tipo P5. Esto correspondería a la etapa "inter-objetal", sobre la cual Piaget & Garcia manifiestan:

Les « raisons » à en établir [d'un ensemble de propriétés dans les objets] peuvent alors se retrouver que dans les relations inter objectales, ce qui revient à dire qu'elles doivent se trouver dans les « transformations » qui sont par leur nature caractéristiques de ce second niveau, l « inter ». (op cit p 302)

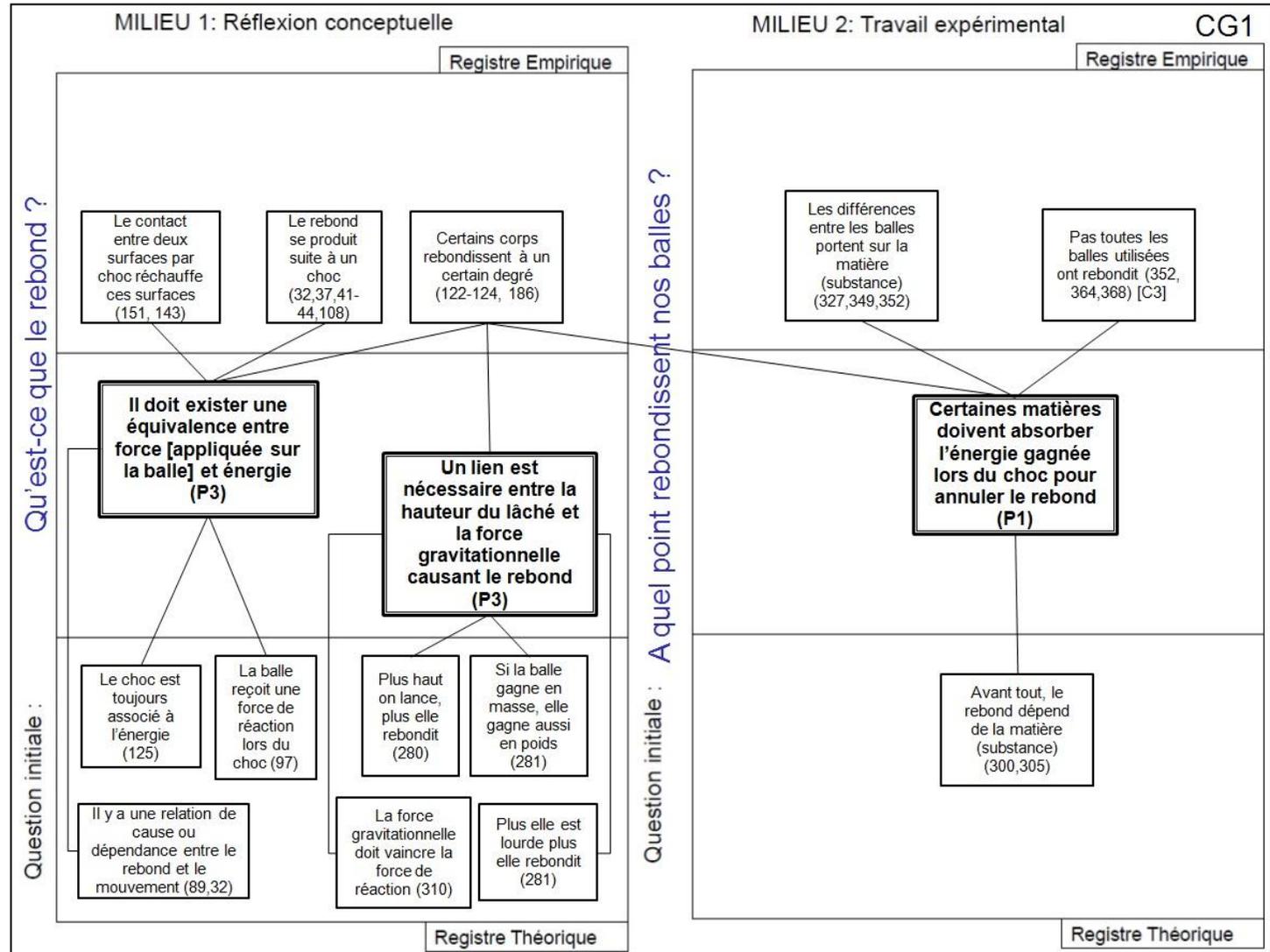
La concordancia de nuestros resultados con las conclusiones derivadas de los estudios de Piaget & Garcia nos llevan a proponer la inscripción de las construcciones de los docentes en estos dos primeros registros, conscientes de que estas construcciones sugieren una sumisión importante a las evidencias empíricas y que la transición hacia la construcción de "estructuras" (en términos de conocimientos científicos) implica probablemente un trabajo más profundo sobre la abstracción. En ese caso, construcciones tales como el cálculo del coeficiente de restitución pueden tomar otros significados.

Este último elemento nos permite completar las descripciones de las construcciones de los docentes, mediante los espacios problema interpretadas con las bases metodológicas y teóricas otorgadas por el marco teórico de la problematización. Estas descripciones son presentadas bajo el formato de esquematización "Espacio de condicionantes" al que agregamos un último elemento, generado mediante esta síntesis: la inscripción de un registro explicativo.

Espacio de condicionantes grupo CG1 (Colombia)

Dès qu'il y a une force de réaction il y a de rebond, son intensité dépend du type de matière. La force [associée au] corps doit vaincre la force de réaction. L'absence de rebond perceptible est due à l'absorption de l'énergie par la matière de la balle. (CG1)

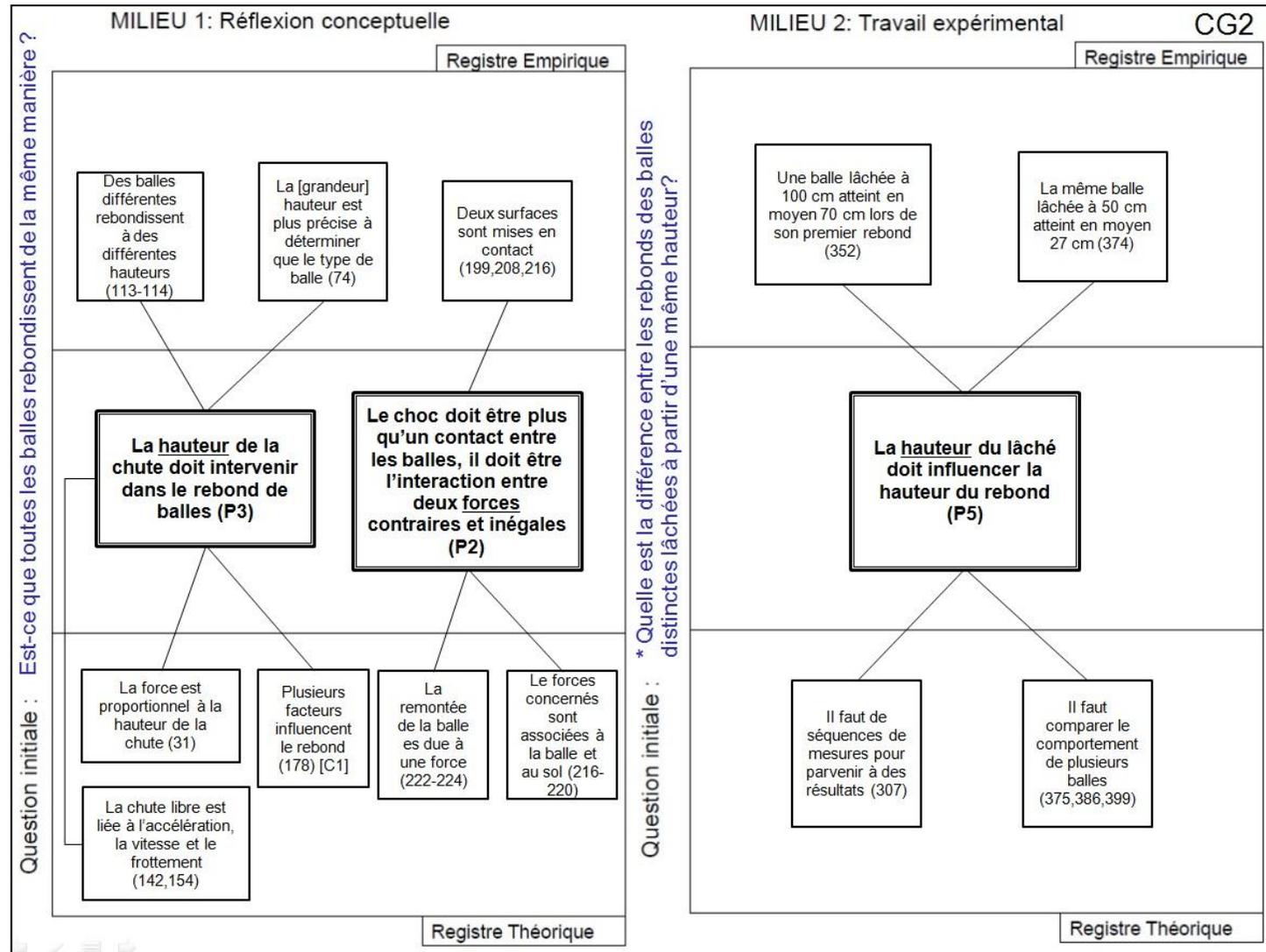
Registre Explicatif : intra (intérêt : intervention de la matière)



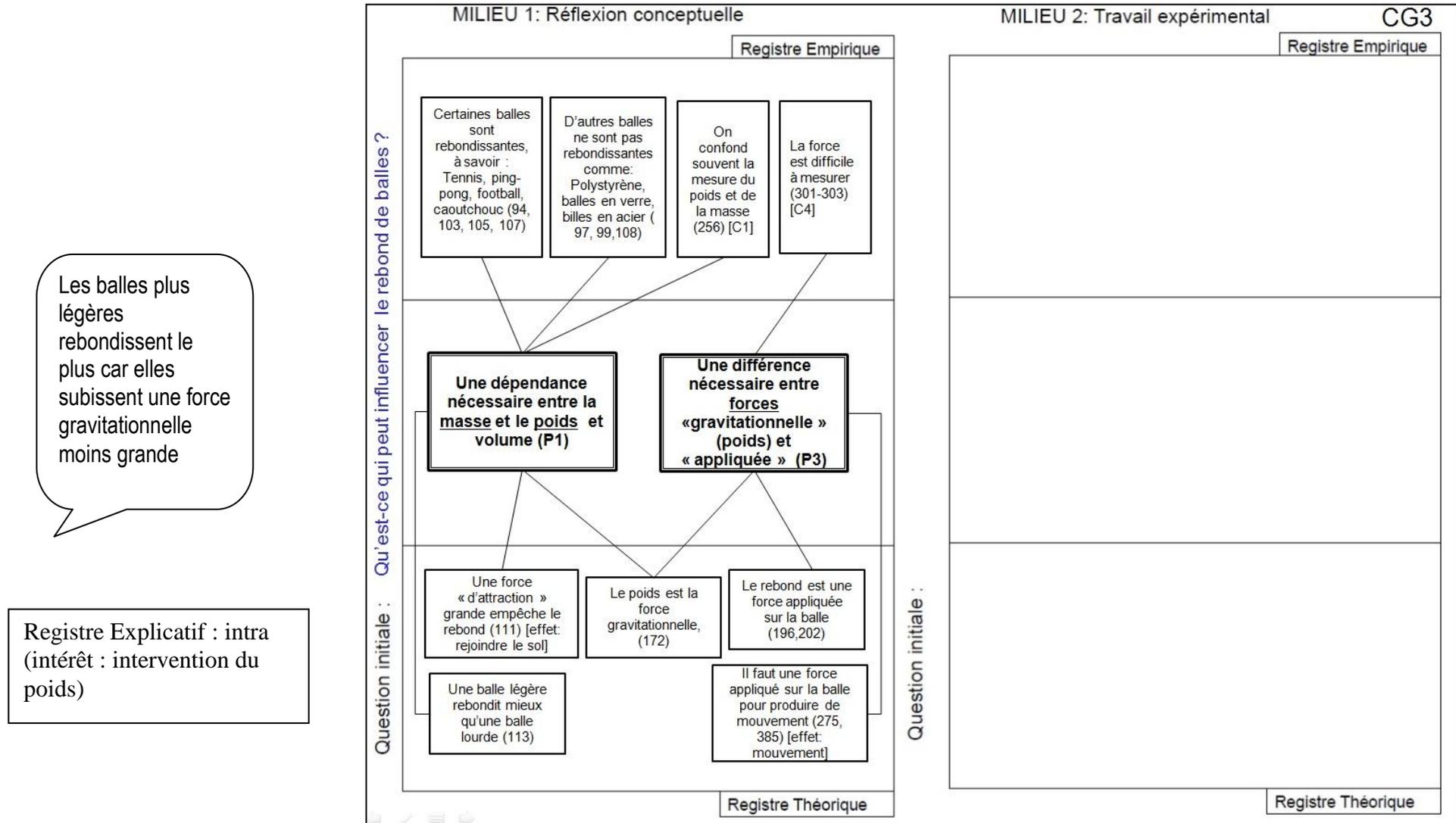
Espacio de condicionantes grupo CG2 (Colombia)

La chute libre est une étape préalable du rebond, la hauteur de lâcher intervient sur la qualité du rebond. Le rebond est produit par une rencontre de forces qui font monter la balle. Plus haut on lâche plus haut rebondit celle-ci.

Registre Explicatif : inter (intérêt : relation des hauteurs avant et après le choc)



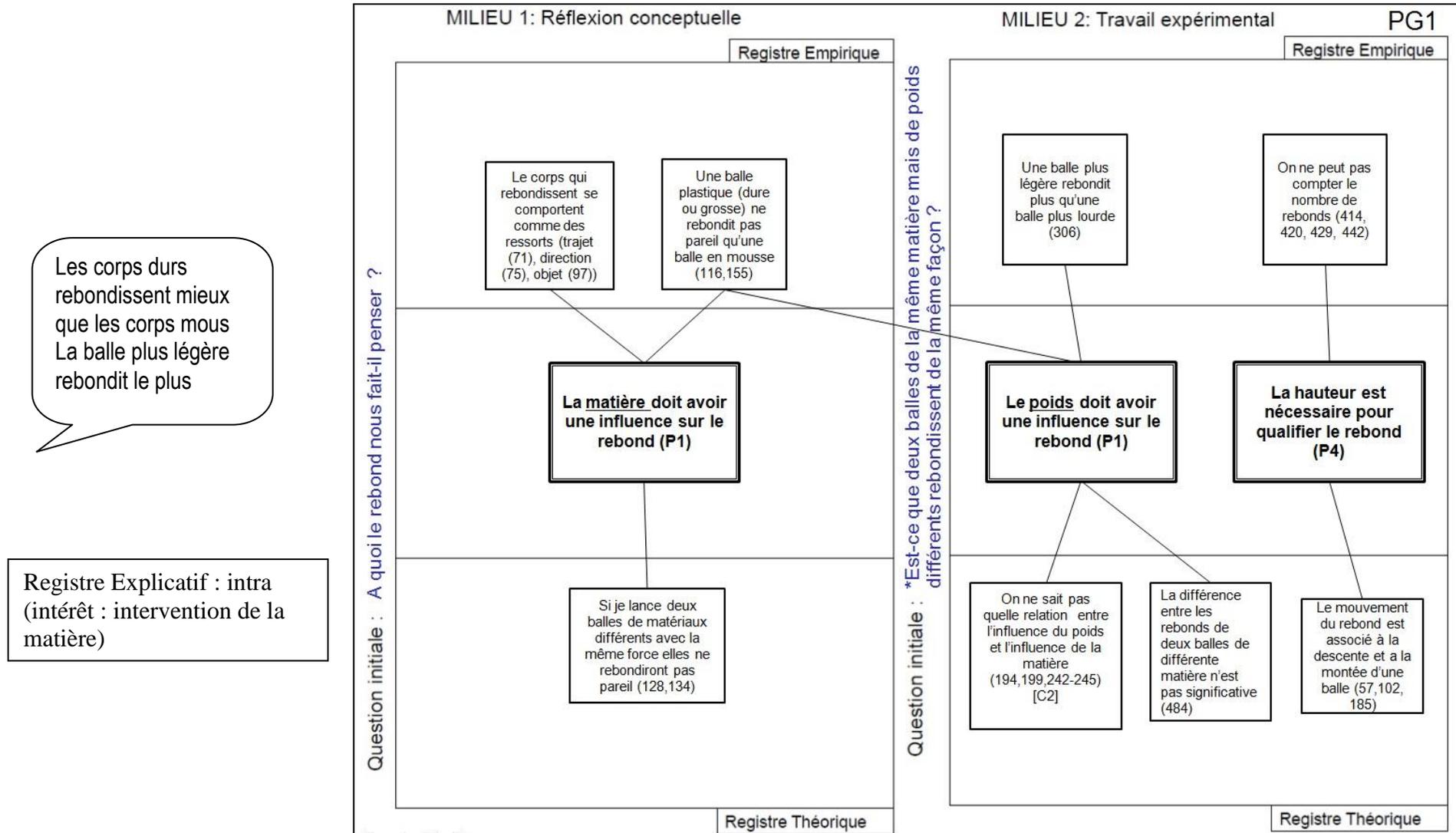
Espacio de condicionantes grupo CG3 (Colombia)



Les balles plus légères rebondissent le plus car elles subissent une force gravitationnelle moins grande

Registre Explicatif : intra (intérêt : intervention du poids)

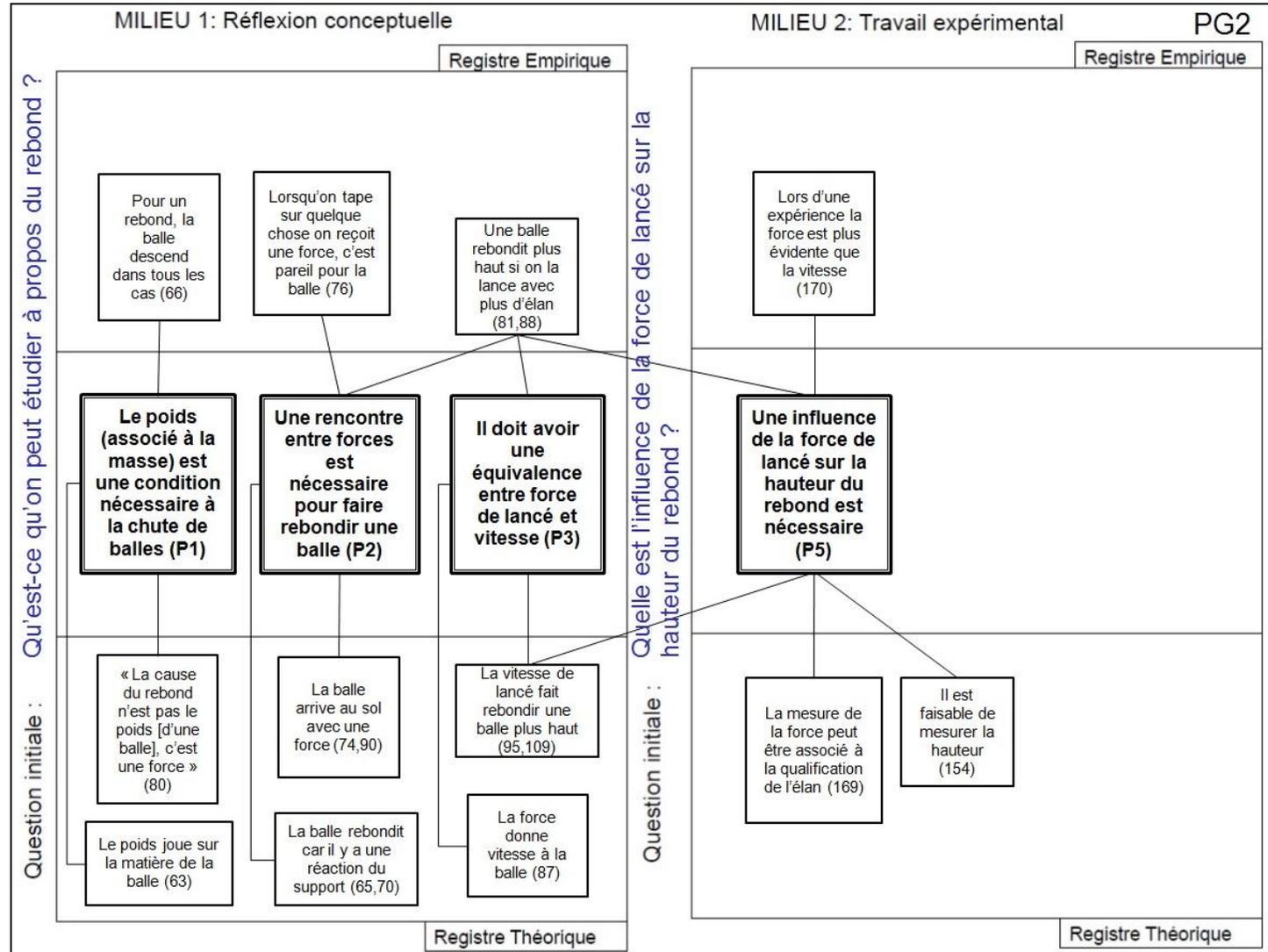
Espacio de condicionantes grupo PG1 (Francia)



Espacio de condicionantes grupo PG2 (Francia)

La chute de balles est une étape préalable et nécessaire pour le rebond car grâce à la chute se produit une force qui se rencontre avec la force de réaction du sol

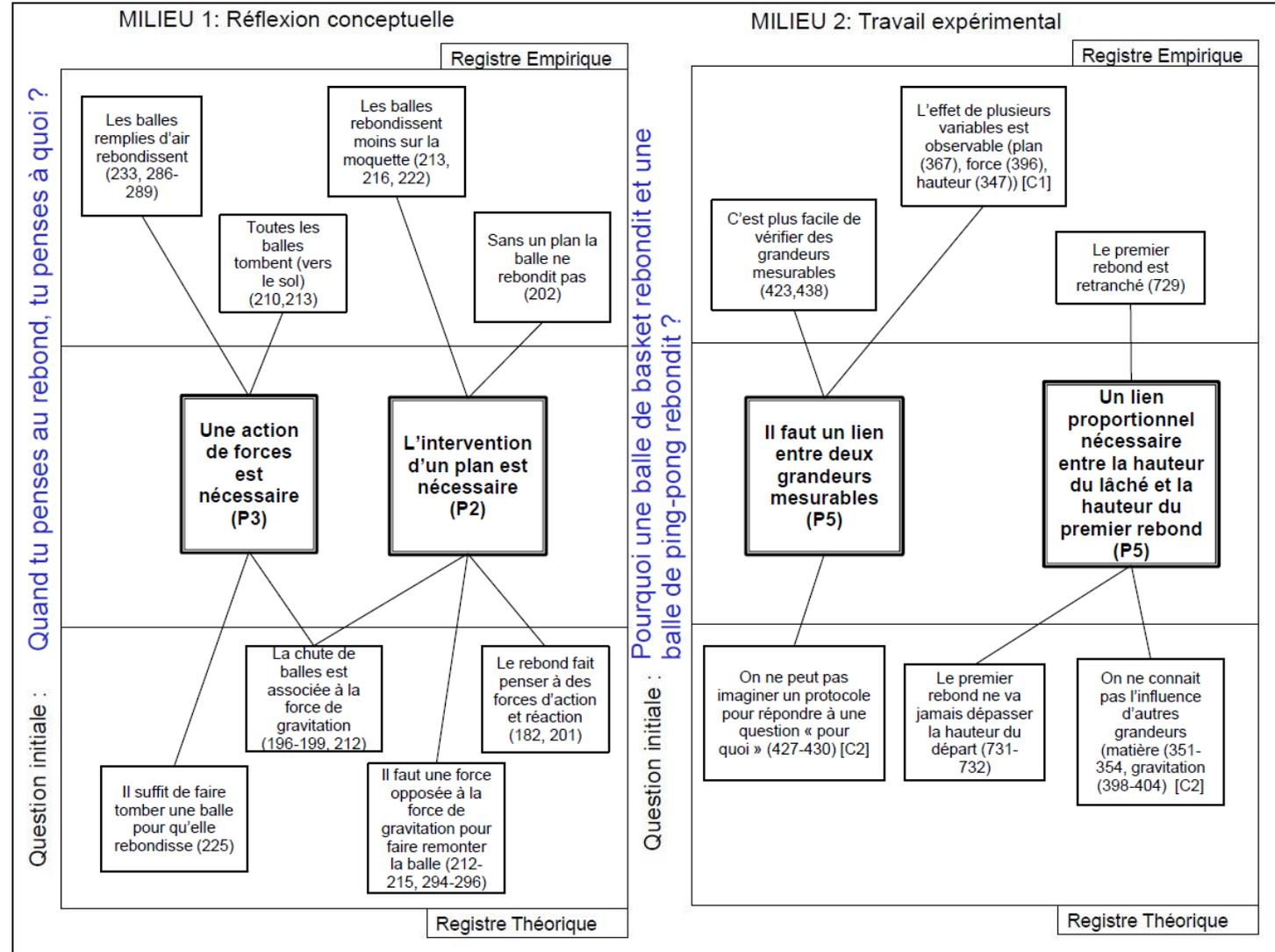
Registre Explicatif : inter (Intérêt : intervention force-vitesse)



Espacio de condicionantes grupo PG3 (Francia)

La force de gravitation est à l'origine du rebond de balles
 La force de réaction (du sol) fait remonter la balle.
 Un rapport entre grandeurs est nécessaire pour conduire cette démarche.

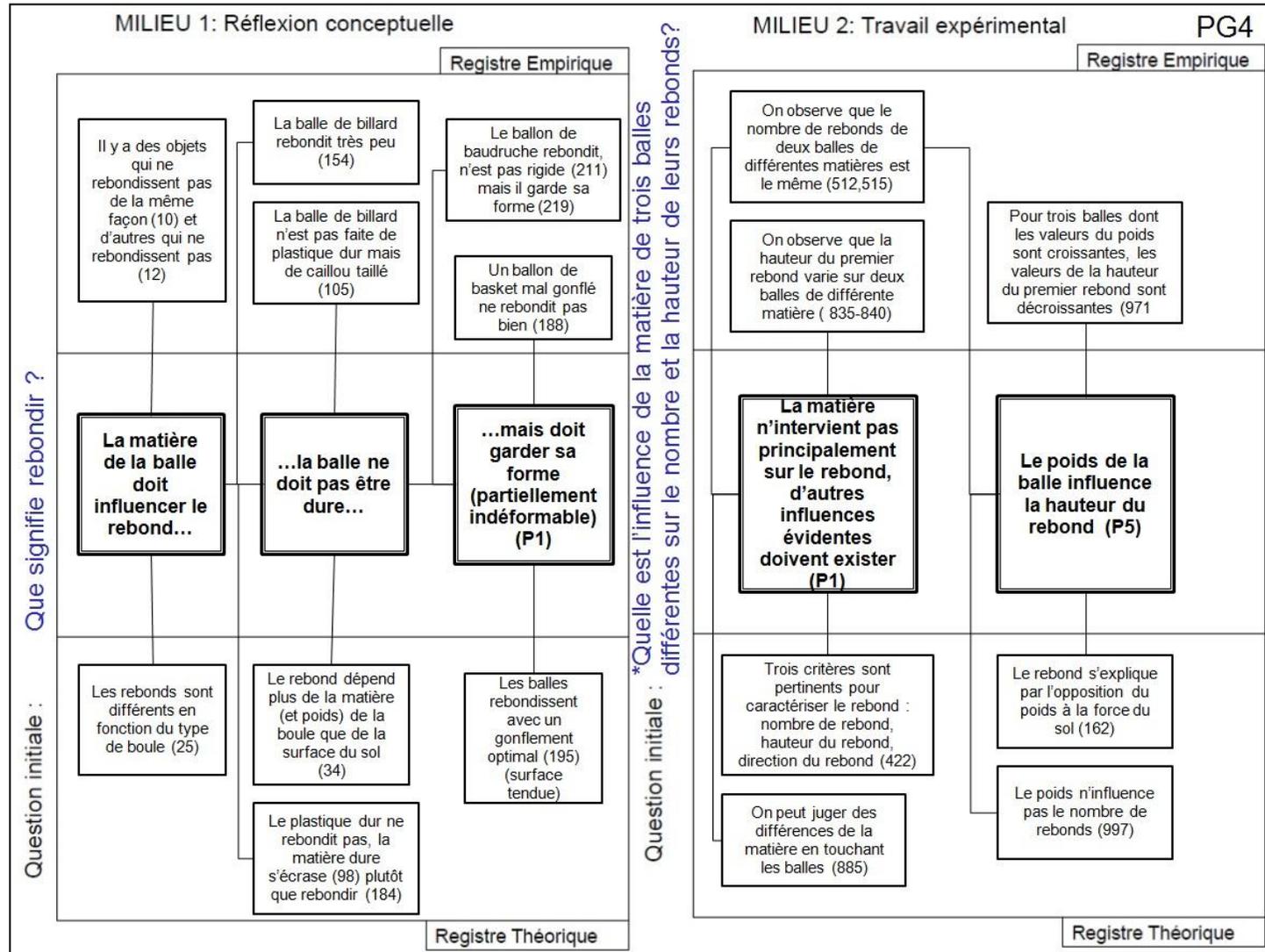
Registre Explicatif : inter: (intérêt : relation des hauteurs)



Espacio de condicionantes grupo PG4 (Francia)

L'influence de grandeurs peut être expliquée à partir des variations observées sur deux critères : numéro de rebonds et hauteur du rebond. La matière doit influencer ces critères. Une balle légère rebondit plus qu'une balle lourde.

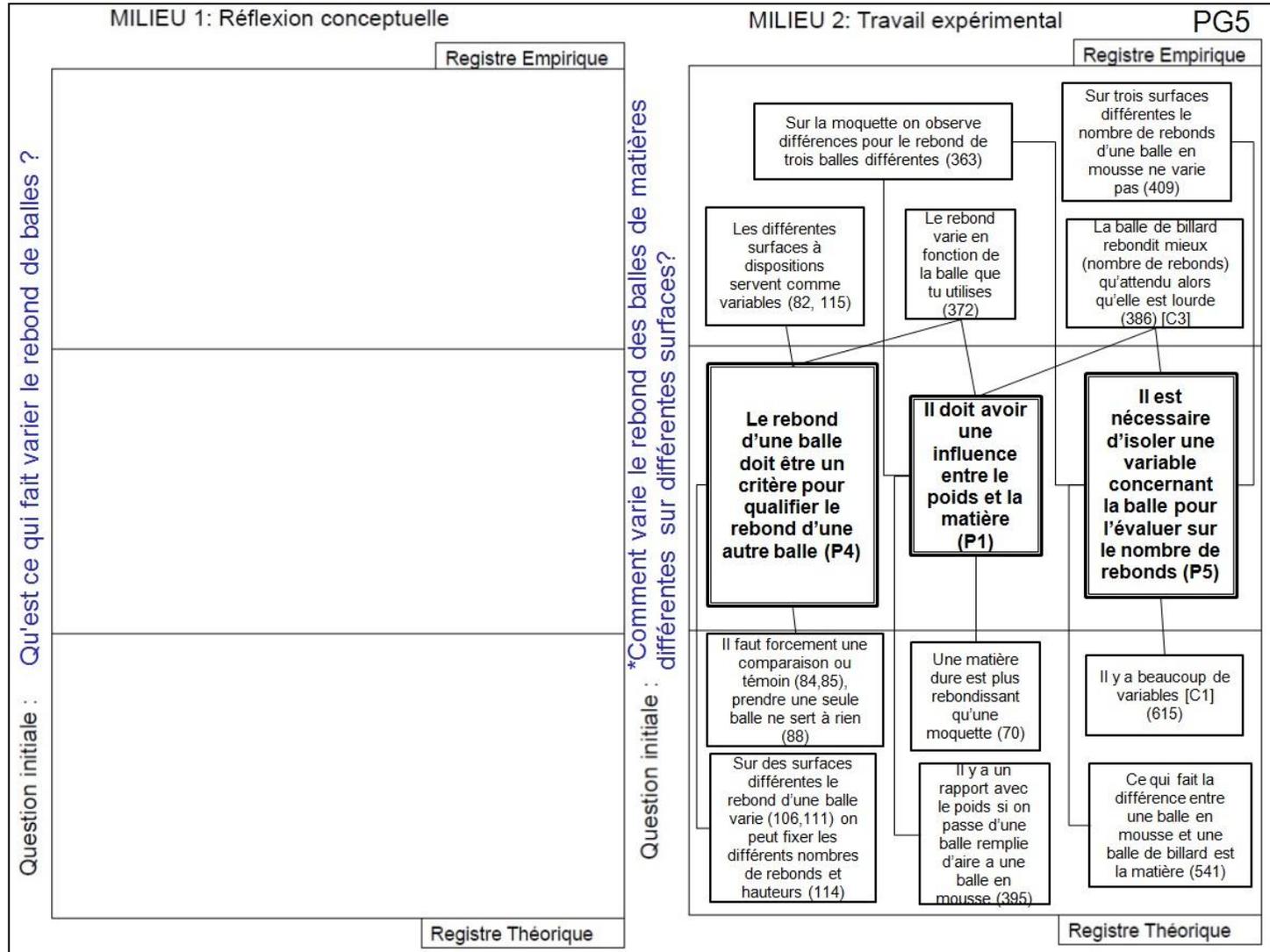
Registre Explicatif : intra (intérêt : intervention de la matière)



Espacio de condicionantes grupo PG5 (Francia)

Le rebond s'explique par une influence conjointe entre la matière et le poids (masse). La surface peut amplifier les effets du rebond ou pas. Cette influence s'exprime par de différences entre la qualité du rebond d'autres balles.

Registre Explicatif : inter (intérêt : comparaison entre balles)



2. Los procesos de construcción de problemas en el marco experimental desde la perspectiva de los docentes

La evolución de la actividad cognitiva de los docentes, se ha visto acompañada por la manifestación de otros conocimientos como aquellos relacionados con la construcción del conocimiento científico y el desarrollo de prácticas experimentales, entre otros. No nos referimos aquí necesariamente a una relación directa entre los conocimientos en el plano epistemológico y los efectos de una práctica docente, sino a las posibles concepciones que pueden entenderse en el marco de las propuestas voluntarias y reacciones generadas en los docentes en el marco de una situación de indagación, situación que Pélissier & Venturini (2012) entiende indisoluble de los conocimientos relacionados con la Naturaleza de la Ciencia

Pélissier & Venturini (2012) señalan igualmente la necesidad de una formación que contribuya a la reflexión y preparación docente para hacer frente a los retos de la instauración de las prácticas de indagación como alternativa en la enseñanza de las ciencias. Ellos sugieren la pertinencia de una preparación docente sobre contenidos “epistemológicos”, siendo la clase científica un “vector de transmisión implícita de las prácticas efectivas de la ciencia” (Lederman, 2004 citado por Pélissier & Venturini, 2012). Un acompañamiento advertido y crítico de parte de los docentes solo podría contribuir a mejorar estas transmisiones. Para tal fin, se espera como mínimo asegurarse de que los docentes cuenten con conocimientos “deseables” (Water-Adams citado por Pélissier & Venturini, 2012).

Nuestra proposición de formación resuena con una las perspectivas propuestas por los autores: una práctica de indagación encarnada por los docentes “a su nivel y en un dominio disciplinar que les sea extraño (en aras de una indagación auténtica) puede dar lugar a una primera sensibilización hacia las cuestiones epistemológicas” (nuestra traducción, p 145). Desde este punto de vista, una exploración previa de los puntos de sensibilización pertinentes para nuestra formación nos parece factible y apropiada en este punto de la investigación.

Es así como desarrollaremos en esta sección, lo que puede asociarse a una cultura epistemológica “espontánea” (Desautel et al, 1993), observada en el contexto de una formación de indagación a partir de una situación indeterminada. A pesar que nuestro dispositivo de formación no tiene como objetivo principal el estudio de la relación de los docentes con las ciencias (o específicamente con la física), algunos elementos perceptibles en sus prácticas nos brindan razones para relacionar elementos propios de estos conocimientos. Tres aspectos llaman nuestra atención a lo largo del análisis: el tipo de preguntas formuladas por los docentes, las elecciones que definen su práctica con miras a responder a sus preguntas y por último, posiblemente como conclusión de las dos primeras, posibles tendencias frente a la imagen que poseen los docentes frente a la naturaleza de las ciencias o elementos constitutivos de una cultura epistemológica “espontánea”. Las reflexiones a propósito de estos tres aspectos se relacionan a continuación.

Frente a la elección de preguntas

En un primer estudio (Martínez, de Hosson, Décamp, 2012, 2013) se han identificado, a través de propuestas espontáneas pero explícitas de los docentes, preguntas consideradas por ellos como aptas para ser investigadas en el contexto propuesto. En una lectura independiente de los criterios de percepción y construcción de problemas otorgados por la problematización, el número de preguntas identificadas en el discurso de los docentes ascendió a 23. Una primera caracterización señala preguntas cerradas (14/23) y abiertas (9/23). Las primeras aceptando un “sí” o un “no” como respuesta, por ej.: ¿Cualquier objeto puede rebotar?, ¿Existe una influencia de la materia sobre el rebote de las esferas?. Las segundas, se presentan de la forma “cómo” y “por qué”, por ejemplo: ¿Cómo influye la materia de la superficie en el rebote de las esferas? y ¿Por qué rebotan las esferas?

PREGUNTAS	#
¿Existe una influencia de la materia sobre el rebote de las esferas?	3
¿Existe una influencia de la materia de la superficie de las esferas sobre el rebote?	1
¿Cómo influye la materia de la superficie en el rebote de las esferas?	1
¿Hay una relación entre el peso de las esferas y el número de rebotes?	1
¿Cómo rebotan las esferas en función del peso?	1
¿Qué hacer para hacer rebotar la esfera lo mejor posible?	1
¿Cómo debe ser la esfera para que tenga el máximo número de rebotes?	1
¿Por qué rebotan las esferas?	2
¿El número de rebotes cambia al cambiar el tamaño de una esfera de espuma?	1
¿El tamaño tiene una influencia sobre el rebote?	1
¿Cualquier objeto puede rebotar?	3
¿Hay una relación de proporcionalidad entre la altura de partida y la altura del primer rebote?	1
¿Cómo influencia la altura de partida sobre la altura del rebote?	1
¿Cómo rebotan las esferas?	1
¿La velocidad con la que se lanza la esfera influye sobre la altura?	1
¿Una esfera plástica rebota mejor que una esfera en espuma?	1
¿Qué es lo que varía en el rebote?	1
¿Existe un coeficiente para caracterizar el rebote?	1
TOTAL	23

Tabla 19 Preguntas propuestas por los docentes como preguntas investigables a lo largo de sus prácticas experimentales.

Es posible que un criterio de simplicidad dirija las propuestas de los docentes en cuanto a la formulación de las preguntas y los lleve a elegir preferencialmente preguntas cerradas. Sin embargo, este primer estudio nos ha mostrado la imposibilidad de catalogarlas dentro de criterios fijos, debido al cambio de forma que estos experimentan.

Es así como por ejemplo las preguntas de tipo “por qué” se refieren a conocer cómo son las influencias de ciertas magnitudes sobre el rebote. En la discusión desarrollada por el grupo CG1, se puede observar la transformación que sufre esta pregunta (Tabla 20).

194	L2: ¿Por qué rebotan las esferas? ... entonces es más... a decir por qué rebotan.
195	L3: sí, por qué rebotan las esferas
196	L2: uno de los elementos allí sería la sustancia
197	L1: no, pero... ¿todas las esferas rebotan?
198	L2: ¿esa es la pregunta!
199	L1: Porque yo digo... una esfera de hierro, ¿rebota?
200	L5: pero ¿eso solamente depende del peso o de todo?
201	L3: No, hay que relacionar masa y volumen. Con esas dos, la densidad
202	L5: la pregunta puede ser que factores influyen en el rebote de un cuerpo , o de una esfera...

Tabla 20 Fragmento de discusión del grupo CG1, que sugiere la evolución de la formulación de la pregunta de tipo “por qué” hacia las posibles influencias de magnitudes en el rebote

Esto también puede observarse en el cuestionamiento del grupo PG3:

425	L2 <i>alors c'est quoi la question ?</i>
426	L1 pourquoi - le...
427	L2 <i>non, mais comment- on va répondre à pourquoi ? Comment on imagine un protocole qui</i>
428	<i>répond à ça ?</i>
429	L1 <i>Y a-t-il...en fait c'est de bond par bond non ? Y a-t-il un lien entre ça et ça... et après</i>
430	<i>qu'on fait les expériences on va voir si oui ou non</i>
431	L2 <i>et tu regardes entre quoi et quoi?</i>
432	L1 <i>et ben, entre ce que tu veux, entre ce qui est mesurable, entre poids et vitesse ou entre</i>
433	<i>poids et nombre de rebonds, ça va être très bien !...</i>

Tabla 21 Fragmento de discusión del grupo PG3, que sugiere la evolución de la formulación de la pregunta de tipo “por qué” hacia las posibles influencias de magnitudes sobre el rebote.

Por su parte, las preguntas “¿Cómo?”, también se ven dirigidas hacia este objetivo, es decir hacia el estudio de la influencia de ciertas magnitudes sobre el rebote. Esto se manifiesta por ejemplo en el trabajo del grupo PG4

25	L1 : Je commence, donc euh//donc ce serait comment elles rebondissent , quelle - type de boules
27	L2 : Après ça dépend- de la surface aussi sur laquelle tu fais tomber/ -parce que si tu <L2> 28 fais tomber un ballon- parce que si tu prends un trampoline, -sur un lit <L2> par exemple-
29	ouais, ou un matelas par exemple, un matelas, ta boule de billard elle ne va pas rebondir de la même façon
30	L3 : Mais, ça dépend de la matière ça dépend pas de la surface dans laquelle elle rebondit,
31	ça / ça dépend de leur poids.
32	L4 : En fait c'est toutes les notions qui vont jouer sur le rebond <2>alors dans ces cas
33	là. Dans ce cas-là il va y avoir plein d'aspects qui jouent sur le rebond. Parce que ça peut être la surface de rebond, ça peut être la matière, peut-être que ça dépend du poids de l'objet, peut-être que ça dépend de (...)
51	L2 : OK // Mais alors la question qu'il faudra que l'on pose... C'est, est-ce que le rebond 52 / comment le rebond dépend-il de euh / dépend-il de ça, de ça, de ça

Tabla 22 Fragmento de discusión del grupo PG4, que sugiere la evolución de una pregunta de tipo “cómo” hacia el cuestionamiento sobre las influencias del rebote.

La pregunta de tipo “cómo” también puede terminar siendo una pregunta cerrada sobre la influencia de una magnitud sobre el rebote, como se evidencia en el trabajo del grupo CG2

75	L2 : ¿Cómo sería la pregunta de investigación?
76	L1 : ¿Cómo influye la altura?
77	L2 : cómo influye o cómo / sí...
78	L1 : Qué interviene en...
79	L3 : ¿Cómo interviene la altura?
80	L4 : Como interviene la altura - en la caída de las
81	L1 : En diferentes- tipos de bolas
82	¿Cómo influye la altura en diferentes tipos de bolas?...
83	L1 : ¿Cómo influye... en la caída de la bola?
84	L3 : pero el problema acá es el rebote
85	L1 : cómo es el rebote
86	L2 : ¿Qué factor influye en el rebote?
87	L4 : la caída y el rebote son diferentes
88	L3 : ¿Es la altura un factor que influye en el rebote de las esferas?

Tabla 23 Fragmento de discusión del grupo CG2 la evolución de una pregunta de tipo “como” a una pregunta cerrada concerniente a las posibles influencias de magnitudes (en este caso: altura)

Las evidencias anteriores sugieren que los cuestionamientos de los profesores pueden pasar fácilmente de una modalidad abierta a una modalidad cerrada o viceversa. Es así como las preguntas “¿por qué?” encuentran de la misma forma que las preguntas “¿cómo?” un mismo interés que es el estudio de la influencia de una magnitud física determinada sobre el rebote o una magnitud que da cuenta de su calidad.

Por otra parte, hemos identificado algunos elementos característicos en torno a la formulación de preguntas. Para algunos grupos las preguntas se han elegido en función de respuestas obvias o intuitivas (“el rebote depende del material” (PG1), “entre mayor sea la velocidad de la bola, más alto rebota la esfera” (PG2), “Todas las esferas rebotan” (CG1) “el rebote depende el peso” (CG3) no sin enfrentarse a algunas oposiciones, como por ejemplo, el cuestionamiento de que esto implicaría una falsa práctica de investigación (Tabla 24):

131	L1 : alors, ta question c'était quoi ?
132	L3 : si une balle en plastique rebondit de la même façon qu'une balle en mousse, ah je te jure !
133	L2 : et donc, le protocole bidon
134	L1 : et bah.... vas-y hein !
135	L2 : non, non ça va
136	L3 : mais non, mais c'est bien
137	L2 : conclusion... ça ne me dérange pas...
138	L1 : matériel ?
139	L2 : on part avec un protocole
140	L3 : et bah il faut une balle en plastique une en mousse et des bras (rires)
(...)	
179	L0 : mais c'est quoi votre question ? Parce que qu'il y a plein de balles
180	L1 : Est-ce qu'une balle en plastique rebondit de la même façon qu'une balle en mousse...
181	L0 : je n'ai pas la mousse, d'accord ? Et la deuxième question c'est quoi ?
182	L3 : eh bien, c'est au niveau de la force mais on n'avait pas encore... trop réfléchi
183	L2 : ah ben on peut changer, vous avez quoi comme balle ? (rires)
184	L0 : Qu'est-ce que vous intéresse dans le phénomène en fait ?
185	L3 : voir si l'une allait plus loin que...
186	L0 : comment vous êtes arrivé à cette question-là?
	L2 : Parce qu'on a... avec la carte conceptuelle / on est parti de la balle, de la matière, du mouvement/ et ça exerçait une force, à une vitesse et à un poids / et donc du coup, on voulait voir si la composition de la balle...

Tabla 24 Fragmento de diálogo del grupo PG1 que evidencia la discusión sobre la elección de una cuya respuesta tiene un carácter obvio o evidente. (Intervención del formador: líneas identificadas con L0)

En el ejemplo anterior observamos que la intención de plantear esta pregunta fue de verificar la influencia de la materia en el rebote de la esfera, empleamos el término verificar en el sentido en que para los docentes dicha influencia era “obvia”, lo que lleva a pensar en una rápida constatación.

Otra respuesta de este estilo (obvia o intuitiva) hace pensar a los docentes que este tipo de preguntas no sería investigable, como para algunos integrantes del grupo CG3:

18	L2 la pregunta sería: ¿qué influye en el rebote?
19	L1 ¿Qué elementos? (...)
37	L1: Eso quiere decir qué elementos , pero entonces decir por ejemplo que los
38	elementos son masa, peso, tamaño... y con eso responder la pregunta de investigación
39	L5 Entonces esa no debería ser la pregunta de investigación... porque si vamos a meter eso...
40	L3 Es que la pregunta debería ser como influye (...)
41	L5 Para mí si la pregunta fuera qué elementos influyen, la respuesta sería masa, peso ¡y ya! ¡Ahí quedó la pregunta ¡ / En cambio si las relaciono / qué relación tienen esos elementos para que se dé el efecto del rebote, para interrelacionarlos

Tabla 25 Fragmento de diálogo del grupo CG3 que evidencia la discusión sobre la elección de una pregunta cuya respuesta tiene un carácter obvio o evidente

Los resultados experimentales (en los casos donde la experimentación tuvo lugar) no permitieron a los docentes confirmar ninguna estas respuestas que tenían sin embargo un carácter “obvio” (“el rebote depende del material” (PG1), “entre mayor sea la velocidad de la bola, más alto rebota la esfera” (PG2), “Todas las esferas rebotan” (CG1) “el rebote depende el peso” (CG3). En repetidas ocasiones se observa que la elección experimental no

favorece el cumplimiento de sus objetivos, en otras se observa el rechazo a los resultados negativos, por ejemplo, aquellos que sugieren que la magnitud elegida “no influye”. Algunos ejemplos de las decisiones de los docentes en cuanto a la práctica y sus implicaciones a la hora de responder sus preguntas, serán discutidos en la siguiente sección.

Frente a la práctica experimental escogida para responder a las preguntas formuladas

Las discusiones anteriores dejan entrever, entre otras cosas, tendencias o formas de prácticas experimentales caracterizadas por ciertos componentes, por ejemplo: el (los) objetivos perseguidos, la existencia o no de hipótesis o de predicciones; las posibles formas de construcción de modelos o una aproximación a través de relaciones entre magnitudes, etc. La definición de estos criterios a partir de la simple lectura de transcripciones e interpretación de resultados declarados puede verse limitada o incompleta. Sin embargo, vale la pena resaltar algunos trazos que hemos constatado de ciertas prácticas a través de estas evidencias.

Hemos observado por ejemplo, que los grupos (PG1, PG2 y PG5) se proponen la constatación de explicaciones mediante la búsqueda de resultados coherentes a sus predicciones, es decir coherente a ideas como: “una esfera ligera rebota mejor que una esfera pesada” (como un ejemplo para el grupo PG1), o “una esfera dura rebota menos” (como ejemplo para el grupo PG5), etc. En ocasiones estas predicciones, son llamadas hipótesis (PG1, PG5), estos serán los únicos casos donde el término “hipótesis” será empleado. Para los demás grupos (PG3, PG4, CG1, CG2, CG3), no se ha identificado la formulación explícita de una predicción o una hipótesis

261	L3 : <i>hypothèse euh j'ai mis... et donc euh / Qu'est-ce que...bah / moi je pense que celle qui a le plus léger poids elle va rebondir le plus (...)</i>
266	L2 : <i>attends il faut mieux tirer</i>
267	L3 : <i>mais non</i>
268	L2 : <i>à hauteur égale il faut dire</i>
269	L3 : <i>tu regardes le rebond (...)</i> <i>(expérience)</i>
280	L2 : <i>ah celle-là elle -c'est dur de voir</i>
281	L1 : <i>celle-là elle rebondit plus ?-</i>
282	L2 : <i>ouais...</i>
283	L3 : <i>ça paraît très logique</i>
284	L2 : <i>regarde, regarde bien...</i> <i>(expérience)</i>
286	L1 : <i>oui</i>
287	L2 : <i>il faudrait filmer pour voir bien</i>
288	L3 : <i>mais si ! C'est sûr, regarde</i>
289	L2 : <i>oui, oui, non mais....</i>

Tabla 26 Fragmento de discusión del grupo PG1 respecto a la formulación de hipótesis en su práctica experimental

Ahora bien, las experimentaciones presentan formas variadas. Algunas tendencias son definidas en investigaciones anteriores concernientes a las relaciones con la ciencia Minstrell (1992, 2001). En particular, los

ejemplos anteriores se asemejan a una categoría de experimentación donde se “determinan las relaciones cuantitativas entre cada variable independiente y su variable dependiente”⁷⁷, como lo son por ejemplo: peso vs altura (PG1), velocidad vs altura (PG2). Del fragmento anterior observamos igualmente una adhesión significativa a esta predicción, dejando poco espacio a cuestionamientos o a observaciones que sugieren resultados contrarios.

Un tipo de experimentación diferente es perceptible en las actividades del grupo PG5, el siguiente fragmento da cuenta de la postura de los docentes frente a su propia práctica, relatada de la siguiente manera:

397	<i>L3 : ben, on avait dit qu'on prenait trois balles différentes, on n'a pas dit forcément... tu vois c'est ça</i>
398	<i>L1 : oui, mais c'est ça.</i>
399	<i>L2 : Mais la matière elle influence forcément sur le poids ... non ?, c'est la même chose... ?</i>
400	<i>oui, la matière c'est plus... oui la forme de la balle</i>
(...)	
406	<i>L1 : non, mais c'est ça, est-ce que... nous, sur quoi on conclut ? C'est... je pense qu'il faut juste conclure de coup, entre... de ce côté-là et de côté-là, on ne peut pas faire entre les balles de ... des conclusions, c'était ça, puisque on s'est disait, c'était que ça donc... on avait vu, que par exemple pour la balle en mouse, en fait, sur les trois matières qu'on a testées ça variait pas...</i>
410	<i>L0 : même nombre de rebond ?</i>
411	<i>L1 : oui, même nombre de rebonds (...), là on a 4, 4, 4... et là on a 4, 4, 4. Sur la balle de tennis ça variait entre 6 et 8, et par contre c'est la balle de billard où on a un plus grand écart, on a 2 et 3 et 6 sur le carrelage... et ... donc les conclusions ne peuvent pas... on a des conclusions horizontales comme ça, mais on a aussi de conclusions qu'en fait, là aussi c'était très différent...c'était très différent, donc, soit on choisit une surface, chaque balle par contre il y a de gros écart entre chaque balle...</i>
(...)	
	<i>mais, après on s'est dit, que nous, on ne peut pas aller plus loin sur notre conclusions puisque on a choisi des balles (...) différentes...de poids différents, et de taille, et de matière...</i>

Tabla 27 Fragmento de discusión del grupo PG5, donde se evidencia el reconocimiento de los docentes de haber utilizado un número inapropiado de variables.

Las experimentaciones iniciales del grupo PG5 cambian con respecto a la elección de la variable independiente, ya para ellos ésta parece confundirse entre los diferentes tipos de superficies y diferentes tipos de esferas, para observar sus efectos en el rebote. Por eso asimilamos esta práctica a una experimentación que “La experimentación manipula varias variables e identifica aquella que tiene un efecto sin probar expresamente para otros”⁷⁸. En cuanto a la variable dependiente, la elección de este grupo como la de otros grupos amerita un señalamiento especial, que desarrollaremos como sigue.

La elección de la variable dependiente (que también representa el criterio para evaluar el rebote) para el grupo PG5 es el “número de rebotes”. Para este grupo el número de rebotes no cambia al variar la superficie del plano. Sin embargo, como ya lo sugeríamos anteriormente, solo tiene sentido contar los rebotes en un periodo de tiempo determinado, y entre más largo sea este periodo es más difícil “contar” el número de rebotes (los choques

⁷⁷ “Experimenting is determining the quantitative relations between each independent variable (one at a time and controlling each other relevant variable) and the dependent variable”. Categoría 061, (categorías en la página DIAGNOSER: depts.washington.edu/huntlab/diagnoser/facetcode.html (consultado el 14 de septiembre de 2014)

⁷⁸ “Experimenting is manipulating several variables and identifying one that has an effect without testing specifically for others » Categoría 065 (DIAGNOSER).

con el suelo son cada vez más seguidos y rápidos). Es decir que para la duración total del fenómeno el conteo de número de rebotes no es posible. Sin embargo, la elección del número de rebotes se repite en los grupos PG3 y PG4, este último también “observa” que “el número de rebotes no cambia”, esta vez en el caso del rebote de esferas de diferentes materiales.

508	L1 : <i>et la dernière, la boule, la noire lisse</i>
509	<i>(expérience)</i>
510	<i>1, 2, 3, 4,5!</i>
511	<i>(expérience)</i>
512	L1 : <i>il me semble qu'à chaque fois c'est pareil, cinq</i>
513	2 : <i>vas-y, vas-y, vas-y !</i>
514	<i>(expérience)</i>
515	L1 y L2 : <i>oui, cinq</i>
516	L2 : <i>et... - celle-là est de la même matière que la rose ?</i>
517	L1 : <i>non, elles sont toutes de matières différentes</i>
518	L2 : <i>parce que apparemment ça influence pas le rebond là, parce que là, la rose et la noire lisse,</i>
519	<i>ont le même nombre de rebonds</i>
520	L3 : <i>oui, mais en même temps... euh...</i>
521	L1 : <i>elles rebondissent plus ou moins de la même façon, parce que c'est le même rythme en fait c'est 1...2...3, 4 et 5. Alors que celles c'est tac...tac...tac, et en fait ça tac, tac, tac, tac, tac, ça va plus vite et moins en moins haut surtout</i>
	<i>(...)</i>
529	L0 : <i>Est-ce que c'est pour ça qu'on peut conclure qu'elles rebondissent de la même façon ?</i>
530	L2 : <i>Elles ne sont pas - rebondit aussi haut par contre</i>
531	L3 <i>on n'a pas mesuré la hauteur en fait-</i>
	<i>(...)</i>
536	L0 : <i>mais, je serais vous je me....comme vous arrivez là, vous ne pouvez pas conclure là</i>
537	L1 <i>oui, on n'a pas de résultat</i>

Tabla 28 Fragmento de discusión del grupo PG5, donde se juzga que no se han obtenido resultados porque la variable para calificar el rebote: “el número de rebotes” no cambia.

Este grupo como el anterior tiene dificultades para concluir, es decir que resultados como por ejemplo: “el número de rebotes no es una variable pertinente” o “la masa no influye el rebote de las esferas” no es concebido, o como en el caso del grupo PG3, es difícilmente aceptado:

547	L2 : <i>le même nombre de rebonds ?!</i>
548	L1 : <i>celle-là elle rebondit beaucoup plus</i>
	<i>(rires)</i>
549	L2 : <i>alors, on recommence 1, 2, 3</i>
	<i>(expérience)</i>
550	<i>C'est 4</i>
551	L1 : <i>non, mais il y en a celles qui ont le même poids et qui rebondissent pareil !</i>
552	L2 : <i>on est en galère !</i>
	<i>(rires)</i>
554	L0 : <i>d'accord...</i>
555	L1 : <i>est-ce qu'il y a un lien ou il n'y a aucun lien ? Parce que c'est complètement aléatoire!</i>
557	L0 : <i>... ça s'appelle une conclusion ce que vous venez de faire...</i>
558	L1 : <i>ah voilà</i>
559	L0 : <i>vous voyez ?</i>
560	L2 : <i>j'ai conclu... mais il n'y a rien de clair dans ma tête !</i>

Tabla 29 Fragmento de discusión del grupo PG3, donde se sugiere como resultado que el peso (entendido por los docentes como la masa) no influye el número de rebotes. Esta conclusión es difícilmente aceptada por los docentes.

Experimentos de tipo: “cambiar cosas para ver qué pasa”⁷⁹ fueron conducidos por docentes de otros grupos. Los docentes deciden así realizar una elección aleatoria de variables desconociendo el hecho del reducido número de variables pertinentes en el estudio de la física, particularmente de las regularidades en sus fenómenos (ver “Reflexiones sobre la ciencia y la construcción del conocimiento científico, en la primera parte).

286	L2: <i>Vamos a plantear el experimento: vamos a ver que tanto rebotan</i>
290	L1: <i>la actividad, entonces hablamos con ellos [los estudiantes] para que se planteen esa pregunta...</i>
291	L5: <i>¡Para ellos no, para nosotros!</i>
292	L4: <i>¡Bueno para nosotros! Nosotros somos los niños [estudiantes]</i>
293	L2: <i>Tenemos que mirar primero que tanto rebota</i>
294	L1: <i>vaya anotando los datos</i>
295	L2: <i>si rebota</i>
296	L1: <i>¿qué tanto rebota?, ¿por qué rebota? ¿Cómo es la sustancia de la que está hecha?</i>
297	L4: <i>el tamaño.... Y ahí sale otra pregunta: ¿una más que otra?</i>
298	L2: <i>¡claro!</i>
299	L1: <i>Hay debe haber una diferencia</i>
300	L2: <i>por qué rebota... en primer lugar la sustancia y luego también... eh... que tanto rebota</i>
301	L1: <i>la diferencia entre y otra</i>
302	L2: <i>que tal que haya un mínimo de rebote en la plastilina que uno no está detectando</i>
303	L3: <i>eso depende de la altura en que caiga, donde es más fácil que rebote</i>
304	L1: <i>y el material</i>
305	L6: <i>ahí depende de la superficie, que absorbe la energía</i>
306	L1: <i>pero hágalo sin el papel a ver</i>

Tabla 30 Fragmento de discusión del grupo CG1 donde se evidencia una postura de tipo “cambiar cosas para ver qué pasa” en un momento dado de la práctica de los docentes.

Sin embargo, gran parte de las actividades del conjunto de los grupos, como lo hemos visto a lo largo de los diferentes resultados, termina relacionando una magnitud física medible (variable independiente) para determinar sus efectos sobre la medida de otra magnitud física (variable dependiente) en aras de establecer su influencia (ver por ejemplo, la tendencia de la formulación de preguntas “por qué” y “cómo” hacia la determinación de influencias, en este mismo numeral).

En particular, una de las relaciones, en términos de magnitudes físicas, que permite acceder a la construcción del coeficiente de restitución “e” como una ley “fenomenológica”, es la relación entre la altura antes y después del choque de la esfera con el suelo. Algunos docentes la entienden como la influencia de la altura inicial sobre la altura del rebote

“Nuestra pregunta fue **¿Cómo influye la altura en el rebote de una esfera?**, escogimos entonces la variable altura, pensamos que si influye pero entonces la variable / el problema era cómo lo hace...”
Grupo CG2 líneas 447-449.

Que corresponde finalmente a la evolución de la magnitud altura a lo largo del tiempo, cuyo valor será constante y constituirá una forma de caracterizar el fenómeno del choque entre dos cuerpos de superficies determinadas. Dicho de otro modo, esto representa una posibilidad clara de construcción de leyes en física.

⁷⁹ “Experimenting is changing things and seeing what happens”.(Categoría 068, DIAGNOSER)

Frente a elementos constitutivos de una cultura epistemológica

La condición abierta e indeterminada de la formación propuesta para los docentes ha suscitado espontáneamente acciones e intervenciones que pueden leerse a la luz de una cultura epistemológica “espontánea” (Desautels et al, 1993). Las evidencias recogidas y presentadas en los párrafos anteriores contribuyen a una primera descripción en estos términos.

Es decir, que a pesar de que el propósito principal de esta investigación no ha sido la recopilación de datos relacionados con la postura de los profesores frente a la ciencia, hemos visto que los docentes manifiestan espontáneamente un conjunto de conocimientos, creencias u opiniones que dan cuenta de una postura personal frente a la construcción de su propio conocimiento científico en el marco de una práctica de indagación.

Elementos constitutivos de la cultura de los docentes, que hemos observado, podrían relacionarse con: la infructuosidad asociada a las preguntas “por qué” o, dicho de otro modo, la transformación de preguntas de tipo “por qué” a preguntas de tipo “como” (en términos de influencias de magnitudes físicas o variables independientes); el rechazo a resultados que llamamos “negativos”, como por ejemplo la no dependencia de una magnitud, o la no pertinencia de la elección de una variable; y por último la tendencia (final) en el marco experimental de la búsqueda de la influencia de una magnitud sobre otra, lo que da cuenta de intención de construir leyes de tipo fenomenológico (es decir la descripción de hechos empíricos).

En particular, nos hemos interesado en situar una posible caracterización de las prácticas (experimentales) de nuestros docentes respecto a elementos representativos de prácticas (docentes/profesionales) observadas en otras investigaciones. Esperamos a partir de ciertas referencias, identificar posibles rasgos de una cultura epistemológica dada. Ahora bien, como primera aproximación a la información obtenida, utilizaremos referentes asociados a dos polos, que pueden entenderse como opuestos en el sentido de su conformidad con posturas tradicionales o alternativas. Una exploración parcial de la literatura relacionada con las ideas de los docentes sobre las ciencias (Porlán Ariza, García García, Rivero García, & Martín del Pozo, 1998 Thomaz MF et al, 1996, Roletto, 1998, Vásquez y Manassero, 2000, Grouleau, 2011) nos ha permitido definir los polos siguientes:

Polo 1: características coherentes con una visión “tradicional” de la ciencia

- ❖ (P1A): Se considera una sola vía o método para acceder al conocimiento científico.
- ❖ (P1B): Se considera que la observación es el primer paso en este método
- ❖ (P1C): Se considera que los conocimientos científicos son objetivos y universales
- ❖ (P1D): Se considera que los conocimientos científicos tienen un valor epistemológico mayor que los conocimientos científicos más subjetivos o cotidianos.

Polo 2: características coherentes con una visión “alternativa” de la ciencia

- ❖ (P2A): Se considera que la metodología científica es diversa y esto implica otros métodos e instrumentos de investigación.
- ❖ (P2B): Se considera que la actividad científica es lógica, creadora, ella no puede estar codificada en forma de receta.
- ❖ (P2C) Se considera que el saber científico está situado históricamente y por lo tanto es relativo
- ❖ (P2D) Se considera que la ciencia es un intento por comprender el mundo, por construir un conocimiento científico que no debe ser asociado a la verdad.

Actividades relacionadas al polo 1:

- Las regularidades son necesarias para concluir, la observación de hechos contrarios o inesperados no motivan conclusiones o nuevas explicaciones pero si dificultades (grupos PG1, PG5). [categoría asociada P1D].

Un ejemplo puede observarse en el siguiente fragmento correspondiente al grupo PG5 en la Tabla 31

492	L0 : vous voulez savoir dans quel sens ça influence
493	L2 : oui, voilà / parce que là c'est ne pas celle qui rebondit plus tout le temps et ce n'est pas celle qui rebondit moins tout le temps...
495	L3 : oui, mais je pense que le fait qui elle est sur le carrelage, c'est parce que c'est la
496	plus lourde qu'elle rebondit le plus
497	L2 : oui...
498	L3 : bah, voilà ! Point. / je ne sais pas si vous...
499	L1 : en même temps ce qui rebondit plus sur le carrelage c'est la balle de tennis !
500	L3 : oui, mais je pense que... je ne sais pas comment expliquer...
501	L1 : non, par contre, ce qu'on peut expliquer, c'est que la balle de billard par rapport à son poids
502	sur les différents euh... sur les différentes surfaces, effectivement le poids va jouer... et de coup sur
503	le carrelage, effectivement, comme c'est la plus lourde... oui je comprends
504	L3 : tu comprends ce que je veux dire ?!
505	L1 : oui, oui, mais tu ne peux pas dire que c'est parce que c'est grâce à son poids qu'elle obtient 6 [rebonds]
506	puisque la balle de tennis c'est plus légère et elle obtient 8 [rebonds]
507	L3 : oui, mais je ne sais pas comment vous dire ce que je pense en fait... ben, ce n'est pas grave ! Oubliez ! Ce n'est pas grave...

Tabla 31 Fragmento de discusión del grupo PG5, que sugiere la necesidad de encontrar una regularidad en los resultados para concluir sobre la práctica experimental.

- La experimentación es utilizada para validar una explicación mediante la confirmación de una predicción (PG1, PG2, PG4), aun con observaciones contradictorias, como lo podemos observar en el siguiente fragmento (Tabla 32) [categorías asociadas P1C, P1A]. La construcción de una hipótesis no tiene lugar en la práctica general de los docentes, como lo vimos en la sección anterior, pero si la validación de una predicción. [Asociado a la categoría P1D]

297	L2: <i>alors là c'est celle-là [la balle qui rebondit plus haut] / on va essayer de m'arnaquer</i>
298	L3: <i>non, je veux être sûre que ça marche</i>
299	L2: <i>on infère ou on refait. Ben, on infère</i>
300	L3: <i>on met même matière, poids différents -résulte ...</i>
301	L2: <i>moi, je croyais que vous étiez dans la démarche d'investigation, ce que tu avais dit d'emblée, nous on part de ce que la plus légère c'est celle qui rebondit plus</i>
302	L3: <i>oui, - c'est ce qu'on a fait...</i>
303	L1: <i>c'est qu'on a fait - </i>
304	L2: <i>ah bon ? / et après tu... / tu t'infirmes ou tu... / tu valides</i>
305	L3: <i>la plus légère rebondit le plus</i>
306	L2: <i>oui</i>

Tabla 32 fragmento de discusión del grupo PG1, propuesto como ejemplo de la voluntad de verificar una predicción mediante la experimentación con poca tolerancia a observaciones o resultados contradictorios.

Actividades asociadas al polo 2:

- La observación de hechos inesperados permite la consideración de otras explicaciones o formas de estudiar el fenómeno (PG3, CG1). Un ejemplo de ello es la situación observada para el grupo PG3 [Categorías asociadas P2A y P2B]

649	L2: <i>après on peut faire la même chose sur le même plan mais avec des forces différents, c'est une autre question</i>
651	L3: <i>là quoi, là? C'est-à-dire ?</i>
652	L2: <i>sur le même plan mais avec des forces différentes, tu la laisse tomber - c'est sûr ! C'est sûr !- c'est une évidence quoi !</i>
654	L1: <i>c'est une évidence !</i>
655	L3: <i>mais c'est une autre question</i>
656	L2: <i>mais c'est une évidence alors on s'en fiche</i>
657	L3: <i>non mais on peut le faire quoi</i>
658	L2: <i>non mais moi, c'est qui m'a prise c'est pourquoi celle-là - ne rebondisse pas de la même manière</i>
660	(expérience [on fait rebondir des balles de façon aléatoire])
661	L1: <i>mais ça c'est évident quoi- </i>
662	(expérience [idem])
663	L3: <i>c'est la matière, c'est...la masse...</i>
664	(expérience [idem])
665	L1 regarde, regarde !! Celle-là je lance de pas haut hop (expérience) et celle-là je lance de haut, hop ! (expérience) ah oui, oui !!
667	L3 il doit y avoir un rapport entre le rebond et la hauteur (du départ) ça c'est presque sûr !

Tabla 33 Fragmento de discusión del grupo PG3, donde puede observarse la apertura de los docentes hacia otras explicaciones mediante una nueva observación experimental

Adicionalmente, observamos en el caso anterior otro ejemplo de preguntas que por su carácter “obvio” no ameritarían ser estudiadas. Sin embargo, este grupo al contrario de los grupos anteriores⁸⁰ (PG1, PG2, CG1, CG3), decidió no abordar dicha pregunta.

- Los docentes están dispuestos a estudiar el fenómeno aun sin tener los conocimientos físicos asociados (P7G3, CG3). [Categorías asociadas: P2B y P2D]. La siguiente Tabla muestra un ejemplo

⁸⁰ ver la primera sección de este numeral: “Frente a la elección de preguntas”

de la posibilidad de estudiar preguntas sin contar con respuestas previas o con los conocimientos aptos para dar respuesta a las preguntas planteadas

60	L5: cómo influyen y qué relación tienen
61	L2: si qué relación entre los elementos
62	L1: por eso, podemos hacer una pregunta que nos permita...
64	L3: y si yo no sé... ella porque estudio, pero ¿si yo no sé qué elementos?...
65	L1: entonces aquí como grande tendría que ir el rebote
66	L2: el rebote y ya!
67	L3: si no, pero primero elaboremos la pregunta, y ahí desglosamos el mapa conceptual
68	L5: pero es que ¿eso no hace parte de la pregunta de investigación para hacer el mapa?
69	L2: o sea la pregunta en general si, y a partir de la pregunta...
70	L3: entonces, ¿cómo influyen los elementos en el rebote?
71	L2: pero lo que dice Ruth Miriam también es cierto, ¿si usted no sabe cuáles son los elementos?
72	L5: entonces cuáles y cómo son los elementos que influyen en el efecto del rebote

Tabla 34 Fragmento de discusión del grupo CG3, que da cuenta de la intención de estudiar el fenómeno sin tener una explicación o idea previa

- Los docentes abordan el estudio a partir de experiencias a su alcance, relacionados con sus conocimientos cotidianos (PG4) [Categoría asociada: P2B]

117	L2 : ah moi j'ai jamais vu une balle de tennis qui se dégonfle
118	L1 : si si, si si // c'est pour ça des fois y a des balles neuves
119	L2 : parce que moi tu sais les miennes elles avaient un truc dur noir à l'intérieur qui se / tu sais quand t'enlèves le truc vert sur le dessus, y a un truc en plastique très dur noir
121	L1 : elles sont vertes tes balles de tennis ? (rires)
122	L3 : nan mais une sorte de structure en-dessous ?
123	L2 : ouais voilà
124	L3 : moi j'ai toujours eu des balles de tennis creuses
125	L2 : moi aussi
126	L1 : et gonflées d'air comprimé
127	L2 : elles sont creuses mais en fait t'as une espèce de structure, de matière noire très dure à l'intérieur, derrière qui fait le tour de la boule, donc c'est creux mais en fait elle entoure un truc et c'est super dur
130	L1 : ouais t'as une matière noire / oui mais c'est creux, on est d'accord.
131	L3 : donc ça ce n'est pas la question de la matière ça alors - Ouais nan c'est encore <2>autre chose- c'est encore autre chose non ? // Ce n'est pas la matière ?
133	L1 : Ben si parce que / enfin non // ben si c'est creux ou pas creux ouais.

Tabla 35 Fragmento de discusión del grupo PG4, donde se da una gran importancia a las experiencias cotidianas.

El fragmento anterior muestra que la experiencia cotidiana dirige el cuestionamiento de los docentes. Incluso, puede decirse que este grupo dio más importancia a las experiencias cotidianas que a los resultados obtenidos en la experimentación.

Por otra parte, la discusión de la Tabla 34, da indicios de un tipo de práctica que no parece aproximarse a ninguno de estos dos polos que es el condicionamiento al contexto escolar, ya sea como docentes en formación o como formadores. En el primer caso, las decisiones de ciertos maestros se muestran influenciadas por las expectativas del formador en el taller (PG2, CC3) en lo que concierne por ejemplo a los temas a elegir o los procedimientos a seguir durante el taller. Este fenómeno oculta de cierta manera las opiniones o posturas de los

profesores respecto al proceso que están llevando a cabo. En el segundo caso, se piensa el grado de dificultad (PG2, CG1), procedimientos y terminología apropiada para el grado de escolaridad (CG2).

En resumen, las evidencias anteriores nos permiten determinar 3 perfiles dentro de los cuales es posible inscribir la actividad de los docentes observados.

1. Tendencia a la verificación: (Asociada a P1) Se trata de prácticas donde se evoca la necesidad de establecer puntos de referencia mediante conocimientos preestablecidos. La experimentación debe reflejar claramente la validez de estos conocimientos. Constatar estos resultados en repetidas ocasiones es lo que permite argumentar una ley. Por lo tanto, el conocimiento científico no se construye, se constata a través de la experiencia.

2. Tendencia a la invención: (Asociada a P2). Prácticas que consideran la construcción de conocimientos, aunque estos a veces no se relacionan con las teorías científicas. Son temas sobre los cuales se estima que no se poseen los conocimientos previos suficientes. En ese sentido juzgar los resultados se vuelve difícil y se corre el riesgo (o la fortuna) de que todos los resultados sean tenidos en cuenta.

3. Tendencia escolar (Asociada a P0): En estas prácticas un interés marcado por limitarse a cumplir con las actividades acordadas con el profesor guía, o establecidas por él. También a dirigir sus prácticas en función de sus estudiantes (o su ejercicio docente). Esta posición impide juzgar resultados bajo una lógica propia, porque es en última instancia la aprobación del profesor la que valorará la calidad de la práctica, o las posibilidades del contexto escolar. Esta tendencia encubre otras posibles posturas en las que se interesa esta investigación, por ello no se clasifica en ninguna de las tendencias anteriores y se incluye como una categoría adicional.

Las tendencias asociadas a las prácticas aparecen de manera heterogénea. El comportamiento de los docentes parece variar de manera irregular, por lo que no se establece una tendencia mayoritaria para el conjunto de los docentes.

Los resultados resumidos en la Tabla 36 reflejan la diversidad de prácticas desarrolladas por los profesores, expresadas en una primera aproximación por tres perfiles. Esta categorización, muy general, traduce la lectura de los elementos de una cultura epistemológica espontánea pero también concreta, ya que esta es leída a través de opiniones, decisiones y comportamientos manifestados en el contexto de indagación que hemos previsto; es decir, de la práctica que resulta de confrontar a los docentes a una situación indeterminada. De igual manera, las evidencias constatadas sugieren repetidas manifestaciones de frustración con respecto a la práctica de indagación que ellos mismos condujeron, aun cuando, como lo muestran los procesos de creación de necesidades existen reflexiones pertinentes y aprovechables desde el punto del vista científico (p. ej. la no influencia de la masa sobre el rebote, la relación entre velocidad y altura, relaciones entre altura y energía potencial, identificación de elasticidad de esferas que rebotan, así como el reconocimiento de la imposibilidad de estudiarla por causa de las condiciones materiales, etc.)

GRUPO	Caracterización	Perfil	Dificultades encontradas para finalizar la práctica
PG1	Se define una predicción a la que se le asigna el carácter verdadero antes de la experimentación.	P1	Los resultados obtenidos no permitieron emitir una conclusión : " <i>on se retrouve piègés</i> " (423)
PG2	La práctica está guiada de manera importante por el punto de vista e indicaciones del formador. Se pretende la generalización mediante la observación.	P0	Los resultados obtenidos no permitieron emitir una conclusión : " <i>il faut des connaissances en physique</i> " (507), " <i>on ne sait pas comment expliquer</i> " (557)
PG3	Los docentes toleran la falta de conocimientos científicos y buscan alternativas para idear una práctica a su alcance	P2	
PG4	Durante la práctica se evoca por largo tiempo ejemplos de la vida cotidiana. A partir de estos se establecen las predicciones que serán verificadas por la experiencia.	P2	Se han utilizado demasiadas variables, otras influencias diferentes de la materia son consideradas pero se dificulta presentar esto como conclusión: " <i>c'est une démarche rare</i> " (673)
PG5	En esta práctica se busca la regularidad de los resultados. La no regularidad no representa un resultado. El término hipótesis es utilizado explícitamente, pero se utiliza para designar una predicción.	P1	Los resultados obtenidos no permitieron emitir una conclusión: " <i>on est coincés nous...</i> " (613)
CG1	La práctica se define en función de los materiales disponibles. El grupo propone diversas explicaciones pero estas no se muestran relacionadas con la experiencia. Los resultados presentados son descriptivos.	P0	El grupo muestra inconformidad con los resultados presentados : " <i>Se entregó como conclusión pero no es la idea</i> " (368)
CG2	Se espera que la experimentación proporcione resultados generalizables. El grupo no espera un tipo de resultados específicos por lo que los resultados no generan contradicciones en ningún caso.	P2	
CG3	Preocupación observable sobre el cumplimiento de las indicaciones dadas en el taller, así como la cronología de estas, lo que parece opacar cuestionamientos o intereses respecto a los contenidos científicos.	P0	Ningún cuestionamiento registrado en las transcripciones motiva una experimentación de forma espontánea.

Tabla 36 Caracterización de la práctica de los docentes y el tipo de perfil al que podrían pertenecer.

En ese contexto la Tabla 36 sugiere que la variedad observada a partir de una tipología de problemas, de una diversidad de conocimientos científicos posibles, etc. puede observarse igualmente a partir de una tipología de prácticas de indagación, cuyas particularidades (elementos directores, rol de la observación, rol de la experimentación, etc) pueden encontrarse sintetizados en dicha tabla. A este nivel de reflexión, parece difícil determinar aquello que correspondería a la imagen que tienen los docentes sobre la naturaleza de las ciencias, lo que corresponde a una reacción a la confrontación con este medio. Sin embargo, sea cual sea su pertenencia, estos elementos, constitutivos de una cultura epistemológica, toman un lugar visible (identificable a través de la lectura de los intercambios) emitiendo un mensaje dado y en algunos casos, su discusión *in situ* es ineludible (p. ej. preguntas investigables, planteamiento de hipótesis, elección de variables, etc.).

3. Síntesis de una caracterización de las prácticas de indagación realizadas por los docentes en nuestra formación

En el transcurso de esta tercera parte, hemos identificado y discutido de forma progresiva las evidencias encontradas a partir del análisis de nuestro taller de formación, con el ánimo de encontrar mediante esta discusión, elementos de juicio para dar respuesta a nuestras preguntas de investigación. Es así como nuestra discusión se compone, en su estructura más general, de dos ejes capitales: los procesos de construcción de problemas vistos desde la perspectiva de la problematización (numeral 1) y desde la perspectiva de los docentes (numeral 2).

Con respecto al primero, una lectura y descripción de las prácticas de indagación se reflejan en la herramienta de análisis "macro estructuras". La reconstrucción de las prácticas de indagación bajo la forma de este esquema nos ha permitido identificar una tipología de problemas, como un conjunto de cuestionamientos, reflexiones, procedimientos, objeciones que tienen un eje temático en común. La descripción de los problemas se realiza en un nivel que revela los aspectos que interesan a los docentes y que son tratados por iniciativa propia, a saber: el estudio magnitudes propias de una esfera dada constantes o variables, el estudio de magnitudes que dan cuenta del movimiento de la esfera, el estudio del choque entre la esfera y un plano (paralelo al plano terrestre), las magnitudes que pueden dar cuenta de la calidad del rebote y por último el estudio de relaciones, o el impacto de la variación de una magnitud sobre otra.

Una vez identificada la tipología de problemas gracias a la elaboración de macro estructuras que dan cuenta de un análisis macro, procedemos a estudiar con más detalle el tratamiento de los problemas, guiándonos por los criterios instaurados en el marco teórico de la problematización en cuanto a las etapas (no necesariamente cronológicas o lineales) de construcción de problemas: percepción (problemas identificados), construcción-apropiación (problemas construidos) y resolución (problemas resueltos). En coherencia con la preocupación por un trabajo mayor sobre la construcción de problemas en los programas académicos, nuestro análisis hace énfasis en las dos primeras etapas. El análisis de nuestros datos en una escala micro, traduce la actividad de los docentes en la interacción de elementos de un sistema explicativo entre el plano empírico (condicionantes

empíricos) y en el plano teórico (condicionantes teóricos), esto es en esencia, el criterio sobre el cual nos apoyamos para reconocer la construcción de un problema científico.

Dichas construcciones pretenden responder al sistema de explicaciones que dirige el cuestionamiento de los docentes, expresadas mediante Registros Explicativos, identificados aquí bajo la forma de un análisis intra-objetal et inter-objetal (los cuales discutiremos más adelante). Conforme a las bases teóricas de nuestro estudio, el Registro Explicativo, gobierna la identificación de los condicionantes, y en consecuencia de las soluciones posibles. Esto constituye en suma, en el marco de nuestro estudio, el sentido de una apropiación o construcción del problema. La diferenciación entre las dos formas concebidas del medio didáctico dentro del cual los docentes desarrollarían sus actividades, analizadas de forma idéntica, nos permite identificar diferencias en los procesos de construcción. Uno de los resultados notables, proporcionados por esta separación (medio 1: conceptual y medio 2: experimental), sugiere que los dos medios se muestran igualmente favorables a la construcción de problemas (resultados en un porcentaje aproximativo). No obstante, cada uno de ellos, estimula la creación de problemas diferentes.

En el medio didáctico 1, se observa la construcción de problemas de tipo P1, P2 y P3, que sugieren dos grupos de tendencias: una focalización en el estudio de la esfera (p. ej. el estudio del material, la masa, el peso, entre otros) y una focalización sobre el movimiento de la misma (p. ej. el estudio de la intervención de la fuerza, la velocidad, evolución de las alturas de rebote, etc.). Por otra parte la intervención significativa de un condicionante: “múltiples variables intervienen en el fenómeno”, se muestra como un motor dinamizador en la construcción, ya sea porque permite ampliar el espectro de posibles (mediante la transición a un nuevo problema) o porque permite especificar el problema en cuestión.

En el medio didáctico 2, se observa la construcción de problemas P4 y P5. Estos tratamientos evidencian la presencia (o persistencia) de la primera tendencia (focalización sobre la esfera) y la consolidación de las relaciones entre magnitudes (asociadas al problema P5), estimulada sin duda por el componente experimental, como lo muestra la comparación de construcciones entre el medio 1 y el medio 2. Esta situación puede ser entendida como un salto al análisis inter-objetal donde se estudia la relación con magnitudes que salen del plano de la esfera (esencialmente la altura del rebote con respecto al suelo). La construcción del problema P5 conduce a los docentes, entre otras cosas, a la elección de variables pertinentes. En concordancia con las reflexiones presentadas anteriormente sobre la naturaleza de los conocimientos científicos (ver parte 2), la elección de magnitudes variables en física representa un reto importante, siendo el conjunto de variables pertinentes de un número reducido. En ese orden de ideas, los condicionantes de intervención significativa observados, en el medio 2 (notablemente en el problema P5), se relacionan con la multiplicidad de las variables, la elección de magnitudes de difícil medición, el hecho que los docentes se sienten que sus conocimientos son limitados y resultados contradictorios a sus expectativas.

Cabe señalar (aun refiriéndonos al medio didáctico 2), entre las posibles construcciones de conocimientos, las bases para la determinación del coeficiente de restitución “e” mediante el cálculo de la relación entre las alturas

antes y después del choque de una esfera contra el suelo. En ese orden de ideas, constatamos la presencia de una noción favorable a la interpretación de regularidades que es la noción de proporcionalidad.

Finalmente, concluyendo esta síntesis, señalamos la presencia de elementos descriptivos de una epistemología “espontánea” estimulada por nuestra formación e identificada a lo largo de los intercambios, de la misma forma que la lectura de los datos anteriores, es decir la información proporcionada por las transcripciones. Entre las evidencias reunidas, vale la pena resaltar la transformación de preguntas de tipo “por qué” a preguntas de tipo “como” esencialmente mediante el establecimiento de influencias de la variación de una magnitud sobre otra. En ese orden de ideas la elección de preguntas estimadas como “evidentes” por las cuales, al final de las prácticas, no se obtuvieron respuestas (p. ej. (¿) el rebote depende del material de la esfera (?), (¿) a mayor velocidad de la esfera, mayor altura (?), (¿) Todas las esferas rebotan (?), (¿) el rebote depende del peso(?), etc.).

Las prácticas experimentales en sí, reflejan una diversidad expresada en nuestros resultados mediante la caracterización de diferentes perfiles. Para esta caracterización nos hemos inspirado en algunos criterios identificados en posturas “tradicionales” sobre la naturaleza de las ciencias así como posturas “alternativas” que para algunos autores representan contenidos más deseables para transmitir en la clase científica. Observamos en todo caso, que esta cultura epistemológica, es portadora de un mensaje, cuyos elementos se refieren por ejemplo a la baja presencia de la noción de hipótesis: posible signo de una noción no operacional, las dificultades para concluir a partir de resultados “negativos”, la elección aleatoria de variables a estudiar, entre otros.

CONCLUSIONES

1. Desde un punto de vista general

Hemos querido situar nuestra investigación en un punto de intersección común (de una diversidad de puntos posibles) de voluntades internacionales de formación científica sobre las cuales reposa el desafío presente de una alfabetización científica y el desafío futuro de la forma que tomará la cultura científica del ciudadano del mañana.

Concretamente, analizando ciertas disposiciones y referentes institucionales, señalamos, en primer lugar, la presencia de solicitudes hacia los docentes relacionadas con el tratamiento de temas científicos desde edades tempranas, y en segundo lugar, de un trabajo con los estudiantes que los acerque a un ideal de formación científica. La interpretación de este ideal no es siempre un consenso y depende probablemente del contexto. Sin embargo, principios directores se muestran estables: fortalecer competencias científicas asociadas con la experimentación, dar un lugar más importante a las iniciativas de los estudiantes, estimular en ellos el cuestionamiento y el espíritu crítico, motivar el agrado por las ciencias y mostrar una cara útil y necesaria de su realidad. Estos principios son comunes de las comunidades educativas francesa y colombiana.

A su vez, la introducción de la ECBI (Enseñanza de las Ciencias Basada en la Indagación) que se quiere coherente con estos principios, se presenta como alternativa para responder a preocupaciones internacionales (pensamos por ejemplo en la consecución de una “alfabetización científica para todos”). En esta propuesta, se plantea acercar a los estudiantes a la actividad científica, bajo criterios de motivación y agrado por el estudio de las ciencias. Los programas académicos francés y colombiano han decidido adoptar dicha propuesta y movilizar recursos humanos, logísticos, financieros, etc., para llevarla al aula de clase. No obstante, según investigaciones e informes oficiales (franceses y colombianos) señalan una formación científica deficiente, al menos en lo que concierne a los docentes de primaria; a esto se suma el señalamiento de investigaciones puntuales sobre las prácticas de indagación (ejercidas por los docentes) que dan cuenta de necesidades de formación en diferentes aspectos de los que resaltamos la formación disciplinar y aspectos ligados a la comprensión de la naturaleza de la construcción de conocimientos a través de la indagación.

Ahora bien, el tratamiento de problemas ocupa un lugar importante en las reflexiones sobre la enseñanza científica, como es posible observar en las disposiciones curriculares y también a través de una larga tradición en la investigación sobre el uso de problemas en la enseñanza de las ciencias. Desde este punto de vista el lector podrá preguntarse sobre el interés de adherirse a este tipo de discusiones. Una posible respuesta concierne a la evolución tanto de la noción de problema como en su rol dentro el aprendizaje: el componente de un cuestionamiento propio en ciencias implicaría, según proposiciones didácticas, reflexiones alternativas donde

se hace más énfasis en la construcción (como una actividad basada en el cuestionamiento) y menos en la resolución (como simple procedimiento algorítmico).

Admitiendo la existencia de estos grandes principios, instaurados en los programas académicos desde la primaria hasta la secundaria, nos cuestionamos sobre las implicaciones en términos didácticos (es decir relacionados con el aprendizaje de una disciplina dada) de la aplicación de estos desde una perspectiva de la práctica docente. Ideamos para esto un ambiente de formación que intenta respetar estos principios y que se focaliza en la construcción de problemas. Nuestra elección se justifica en que la construcción de problemas constituye un reto de formación actual debido a que de la construcción de un problema se espera la construcción de un conocimiento científico. De esta manera llevamos el estudio de la construcción de problemas al contexto de docentes confrontados a una situación de indagación científica, para estudiar así los efectos de dicha confrontación.

De forma complementaria a las investigaciones llevadas a cabo hasta el momento en el campo del marco teórico de la problematización, el estudio que hemos conducido se apoya sobre una situación que no es escogida por su carácter inesperado, que apunte hacia la identificación y confrontación de concepciones ni para un examen crítico de los sistemas de razonamiento de los estudiantes, operativos pero no conformes a la teoría vigente en física. Hemos escogido esta situación, en principio indeterminada⁸¹, bajo la hipótesis de que el rebote inspiraría el surgimiento de una diversidad de problemas científicos. Basándonos en el enfoque de problema propuesto por Dewey, supusimos igualmente que el carácter familiar de esta situación motivaría la formulación de problemas incluso a docentes que cuentan solamente con conocimientos científicos escolares. El uso de la teoría de la actividad de problematización nos ha permitido poner a prueba estas hipótesis y caracterizar una diversidad de problemas en perspectiva con los conocimientos en física.

Es importante aclarar que a diferencia de lo generalmente encontrado en los trabajos basados en la problematización, la formulación de la pregunta inicial que daría paso a la generación del problema no proviene de nosotros, como formadores, sino de los docentes en formación (inspirados probablemente del medio didáctico en el cual se encuentran). Esta elección se justifica en el hecho de que la formulación de problemas bajo la forma de preguntas es una tarea que concierne directamente a los docentes, como responsables de la conducción de este proceso en las aulas escolares.

Ahora bien, tengamos en cuenta que nos hemos interesado en la comunidad docente de la educación primaria. Expectativas importantes en términos aprendizaje científico recaen sobre sus hombros en el marco de una construcción de problemas así definida. En particular, ellos son llamados a estimular el cuestionamiento sobre temas científicos, aun cuando ellos mismos presentan un nivel de formación científica heterogénea y para muchos insuficiente (p. ej. algunos solo cuentan con los conocimientos científicos de la educación secundaria). Desde el punto de vista de la investigación en didáctica la formulación de problemas no parece una tarea fácil

⁸¹ El estudio del rebote no hace parte de los temas generalmente estudiados en la educación primaria y secundaria

para los docentes y sin embargo, desde el punto de vista de la epistemología de las ciencias, el cuestionamiento se encuentra en la base de todo conocimiento científico.

Nuestro público proviene de dos ambientes culturales diferentes, que no obstante se encuentran confrontados a ciertas consignas institucionales del mismo corte, por ejemplo, aquellas relacionadas con la enseñanza basada en la indagación. Pensamos que el trabajo con docentes de un ambiente cultural diferenciado nos puede dar pistas sobre una formación capaz de responder a intereses curriculares en el plano internacional (Fawaz & Viennot, 1986, Caldas & Saltiel, 1995, Vosniadou & Brewer, 1990 et Goh, 1993). Nuestro propósito consistió en encontrar regularidades (y diferencias) en los procesos llevados a cabo por los docentes franceses y colombianos en el marco de la construcción de problemas de una situación abierta.

Consecuentemente, los resultados y conclusiones expresados aquí involucran de igual manera las poblaciones observadas de docentes colombianos y franceses, ya que los comportamientos que hemos observado (elección de preguntas, naturaleza de objeciones, procedimientos experimentales aplicados, etc) permiten tratar los datos obtenidos como una sola unidad, es decir, las diferencias culturales de los dos grupos de docentes no tuvieron una incidencia notable en la interpretación de los datos y la inferencia de tendencias de problematización que evocaremos más adelante. Lo anterior nos lleva a pensar que la formación propuesta ha de atenuar el impacto de tales diferencias e introducir a los docentes en condiciones similares.

Sin embargo, algunas diferencias asociadas, sin duda al aspecto cultural, representan dificultades potenciales para la aplicación de una misma formación y el análisis bajo una misma lógica de los datos obtenidos. Ejemplo de ellos son:

- un ejercicio mayor de la argumentación durante los intercambios verbales de parte de los docentes franceses, esto implicaría un nivel de precisión diferente en la caracterización de las ideas;
- una tendencia de estudio más pragmática de los docentes colombianos que los llevaría a avanzar en sus explicaciones preferencialmente basados en la actividad (evidencias empíricas)
- una necesidad de mayor acompañamiento, por parte de los docentes colombianos, para alcanzar niveles de problematización, en situaciones como por ejemplo la identificación de una contradicción, notoriamente en la fase experimental

Los criterios de científicidad y de apropiación proporcionados por nuestros fundamentos teóricos nos permiten al final de este estudio confirmar la posibilidad de una apropiación, por parte de los docentes, de este tipo de situación para redirigirla y proceder a su determinación. Verificamos igualmente la posibilidad de construcción de conocimientos científicos. Algunos docentes han podido obtener de este proceso de construcción, conocimientos admitidos actualmente en el campo de la física. Ejemplo de ello son la determinación del coeficiente de restitución, entendido como una variación proporcional de las alturas en el rebote, o la asociación entre ciertas magnitudes físicas, para determinar su incidencia sobre el rebote (la fuerza de lanzamiento con la velocidad inicial de la esfera, la altura de caída con la energía potencial, la elasticidad como propiedad necesaria para “causar” un rebote, etc.)

De forma complementaria con los diferentes aspectos que ha tomado la investigación sobre la enseñanza basada en la indagación (competencias científicas, análisis de contenido de los docentes o PCK, aspectos sobre la imagen de la ciencia NOS, motivación de los estudiantes sobre el estudio de las ciencias, actitudes de los docentes, etc.), nuestra investigación permite la exploración y el seguimiento de la evolución de la actividad cognitiva de los docentes, para confrontarla con el punto de vista científico de las teorías físicas admitidas.

Por otra parte, constatamos que este dispositivo de formación permite la lectura de elementos asociados con la dimensión epistemológica de la construcción de problemas científicos. Las decisiones, opiniones, procedimientos, conclusiones, etc., dan cuenta de una cultura epistemológica espontánea inspirada por la situación de indagación propuesta, sin proporcionar en detalle la naturaleza de esta información. Dicho de otra manera, la información disponible no nos permite diferenciar entre aquello que pertenece a la imagen que los docentes poseen de la ciencia y lo que pertenece a una reacción local generada por la confrontación a este medio.

2. Como respuesta a la problemática planteada

El estudio de los elementos que componen este escenario de discusión, nos ha permitido identificar una problemática, expresada mediante tres preguntas de investigación. Una vez recolectadas las evidencias y trabajados los elementos de juicio para enunciar los resultados correspondientes, procederemos en esta parte concluyente de nuestro trabajo a proponer elementos de respuesta a nuestros cuestionamientos.

[Q1] ¿Cuáles son los elementos que dinamizan la actividad de los docentes orientados hacia la construcción de problemas en un contexto de estudio del rebote de las esferas?

La construcción de problemas es entendida como un proceso de una evolución cognitiva estudiado en primera aproximación (macro) a partir de una esquematización de intercambios verbales, el carácter dinámico de la problematización es reflejado mediante una sucesión de preguntas y respuestas (Meyer, 2002) y la pertenencia a diferentes intereses son el primer signo de una diversidad de problemas.

En una descripción como tal de estos procesos, observamos la aparición de condicionantes (teóricos y empíricos) que acompañan momentos que sugieren una dinamización. Es decir, situaciones generalmente contradictorias propician cambios durante el proceso de construcción de problemas, ya sea por la expansión del campo de posibles (p. ej. la consideración de otros problemas) o la profundización en el estudio de un mismo problema (p. ej. especificación en la medición de variables, identificación de un número mayor de condiciones, etc).

En una aproximación más detallada, observamos que ciertos condicionantes se muestran representativos de estas situaciones de contradicción, asociadas, por las razones que venimos de exponer, a una dinámica de construcción de problemas. Es así como un análisis más detallado (micro) permite señalar la presencia de los condicionantes en momentos contradictorios (o de dinamización) que admiten la construcción de problemas. En nuestro estudio se reconoce la contribución de los condicionantes, que nos permitimos recordar mediante la siguiente tabla:

		Medio 1 (conceptual)	Medio 2 (experimental)
[C1]	Demasiadas variables a considerar	P3, P1	P1, P5
[C2]	Conocimientos disponibles de los profesores insuficientes		P1, P5
[C3]	Los resultados experimentales contradicen los resultados esperados		P1, P5
[C4]	Las magnitudes físicas no pueden ser medidas con el material disponible		P1, P5, P4, P3

Tabla 37 Condicionantes observados en momentos de contradicción que admiten la construcción de problemas.

En la tabla anterior se observa que la mayoría de estos condicionantes son de naturaleza empírica (C1, C3 y C4), y que intervienen de preferencia en la construcción de problemas P1 y P5. Por otra parte, se observa que la única categoría teórica se observa mayoritariamente en la fase experimental. Según la naturaleza de estos condicionantes concluimos

Condicionantes cognitivos o teóricos (asociados a los conocimientos disponibles de los docentes): puede percibirse por ejemplo en el caso en el que los docentes se proponen estudiar la influencia de la variación de una magnitud física sobre otra y se dan cuenta de que la cantidad de magnitudes a tener en cuenta (estimación de las condiciones iniciales) es demasiado grande. También puede tratarse de un cambio de intereses, luego de tomar conciencia de que los conocimientos disponibles son insuficientes, ya sea desde un punto de vista metodológico (“no podemos imaginar un protocolo que responda a la pregunta “¿por qué?”) o desde el punto de vista disciplinar (“no sabemos nada sobre la materia”)

Condicionantes empíricos o experimentales: corresponde, por ejemplo, a los casos donde los instrumentos de medición disponibles limitaban la elección de los docentes sobre magnitudes medibles (los docentes excluyen de sus prácticas la medición de las fuerzas, las aceleraciones, las velocidades). Por otra parte, las esferas disponibles podían comportarse de forma inesperada (los docentes disponían por ejemplo de esferas de masas y volúmenes iguales que no rebotaban de la misma manera)

Por su naturaleza empírica, parece lógico constatar una mayor presencia en la construcción de problemas en el medio didáctico 2 (experimental). En efecto, son las condiciones materiales propias a este medio que definen los

condicionantes que hemos previsto para esta formación con el propósito de encaminar la práctica de los docentes.

Finalmente, señalamos que el estado actual de los resultados no permite predecir la construcción de un problema dado a partir de la identificación de uno condicionante dado (de los relacionados en la Tabla XX)

[Q2] ¿Cómo los docentes reducen la indeterminación de una situación abierta referente al rebote de las esferas, para hacer de esta una situación problematizadora?

En primer lugar remarcamos un interés menor por los aspectos energéticos y termodinámicos, así como por una comparación entre esferas “blandas” y “duras”, que fue el caso para la investigación de (Viard, 2003). Los docentes en formación se mostraron más interesados en los factores que contribuyen a obtener un “buen rebote”: velocidad de lanzamiento, fuerza ejercida por el lanzador, características del plano durante el choque, masa, elasticidad de la esfera, entre otros, siendo el número máximo de rebotes, la altura del rebote luego del primer choque y el periodo de tiempo para un número total de rebotes los criterios elegidos cualificar un buen rebote.

De la misma forma, el medio didáctico 1 se mostró propicio para la construcción de problemas, repartidos generalmente en dos tendencias, la primera corresponde al estudio de magnitudes que dan cuenta del movimiento de la esfera: altura, velocidad, fuerza, intervención del plano (expresado en general por el problema de tipo P3). El tratamiento de estos problemas evoluciona en el medio 2 (experimental), donde los grupos que se habían interesado por el estudio del movimiento y el estudio del choque, pasaron en general (excepto 1 grupo) a la construcción de relaciones entre magnitudes (P5); la segunda, corresponde a la focalización sobre el estudio del objeto, de forma local: masa/peso, materia, contenido, etc. (expresado en general por los problemas de tipo P1).

Los procesos que parten de la focalización sobre la esfera pasaron, en general, por etapas intermediarias adicionales (comparadas con los grupos de la primera tendencia) antes de pasar a la construcción del problema P5. Cabe aclarar que todos los grupos que accedieron al medio experimental consiguieron construir problemas de este tipo. Basándonos en la comparación de desempeños observados con el medio conceptual, los resultados asociados al medio experimental sugieren una influencia del el medio 2 sobre la construcción de relaciones entre magnitudes (P5).

En ese orden de ideas, la dinámica general de los procesos (ilustradas en el Esquema 8 y el Esquema 15) se asemeja a los procesos encontrados por Piaget & Garcia (1983), en su búsqueda de mecanismos comunes para la evolución del conocimiento científico. Este mecanismo encuentra sus inicios en el estudio del objeto, lo que inscribe el análisis en el plano “intra - objetal”. En correspondencia con los resultados de nuestro trabajo, y como una primera aproximación al Registro Explicativo al que recurren los docentes, asociamos el análisis intra -

objetal al estudio focalizado sobre la esfera. Por otra parte, el estudio de magnitudes que dan cuenta del movimiento de la misma nos llevan a relacionar esta forma de razonamiento al plano inter-objetal, en esta última se manifiesta un cierto interés en la relación de la esfera con otros objetos, como por ejemplo el plano sobre el cual rebota la esfera, igualmente, puede dar cuenta de la evolución del estado de la esfera que permita entender su movimiento.

El medio 2, en comparación con el medio 1, refuerza la construcción de relaciones entre magnitudes, llevando a los docentes a estudiar el efecto de la variación de una magnitud sobre otra, lo que puede entenderse en el sentido de una transformación. Dicho de otra manera, el medio 2 reforzaría el análisis en el plano “inter-objetal” mediante el estudio de la relación entre magnitudes.

En concordancia con lo expresado por Piaget & Garcia (1983), podemos decir que las construcciones asociadas al análisis “intra” e “inter – objetal” se encuentran ligadas de manera importante a las evidencias empíricas, los resultados obtenidos por los docentes (ya sean franceses o colombianos) sugieren una búsqueda sistemática, por la vía de una heurística ad hoc, de una ley o una relación fenomenológica entre dos variables observadas. Una vez establecidos y desarrollados estos niveles de análisis, podrían esperarse construcciones más complejas, relacionadas con el análisis “trans-objetal” o “construcción de estructuras”, que entendemos como una forma de problematización en un nivel de abstracción mayor.

Las razones expuestas anteriormente nos proporcionan elementos de juicio para pensar que nuestra formación corresponde a una preparación al nivel trans-objetal, así como abrir la posibilidad de analizar las formas de problematización en el área física bajo estos criterios de análisis (intra – inter – trans). De esta manera los grados de problematización evocados por (Beorchia, 2005), en el área de la biología, podrían ser interpretados en el área de la física, en función de estos niveles⁸².

Ahora bien, la forma que toman estas construcciones, puede ser interpretada a la luz de los conocimientos disponibles de los docentes. Es así como podría decirse que la construcción de un conocimiento puede surgir en el seno de una situación indeterminada con la condición de que ese conocimiento se encuentre situado dentro de la Zona de Desarrollo Próximo (ZDP) de los docentes en formación o muy próxima a esta (Vygostki, 1995); es el caso por ejemplo del coeficiente de restitución construido como una relación constante de las alturas sucesivas. Por el contrario, si el conocimiento se encuentra fuera de su ZDP, es decir muy alejado del espacio cognitivo donde se utilizan los conocimientos disponibles para el tratamiento de los datos, el problema dentro de esta situación queda sin respuesta: la investigación se detiene sin que haya sido posible construcción alguna, como fue el caso de ciertos docentes en el marco del estudio de la elasticidad⁸³.

Finalmente, percibimos que si el problema construido por los docentes se enfrenta a un obstáculo, ellos no podrían superarlos por sí solos y una guía sería requerida, es el caso, por ejemplo de los docentes que buscan

⁸² Vale la pena aclarar que los grados de problematización son discutidos por (Beorchia, 2005) en el marco de la actividad de problematización alrededor de un único tema (la articulación de los brazos). En nuestro caso se trata de una diversidad de temas en física asociados al rebote de las esferas.

⁸³ Desde ese punto de vista, la rol del formador (como mediador del conocimiento) se mantiene esencial.

establecer una relación de dependencia entre la masa de la esfera con el número total de rebotes, que aun cuando dicha relación no existe, no admiten el enunciado “el rebote no depende de la masa de la esfera” como un conocimiento construido, el estudio del problema es así abandonado. Este resultado aporta planteamientos que señalan la necesidad de acompañar prácticas de indagación, basadas en la superación de obstáculos⁸⁴ (tales como son presentados por ejemplo en los programas académicos de secundaria en Francia (ciclo “collège”) ver Mathé et al. 2008)

La situación anterior, revela igualmente, un análisis complementario a la descripción de estos procesos en términos cognitivos que es la caracterización de los elementos de una cultura epistemológica espontánea (Desautel et al 1993) que emergen a partir de la práctica de indagación de los docentes. Aspectos como la definición de los criterios para calificar una pregunta como investigable o a elegir los instrumentos experimentales para mediciones coherentes con sus cuestionamiento, la elaboración de hipótesis y su relación con las predicciones, la admisión de resultados “negativos”, el tratamiento de resultados contradictorios, la determinación de condiciones iniciales y de magnitudes variables; constituyen elementos que surgen de manera espontánea en coherencia con la naturaleza de la tarea solicitada. Ciertas dudas o contradicciones (p. ej. la cuestión de escoger una pregunta “evidente” o no) impiden un desarrollo fluido de la práctica docente. Por evocar un ejemplo, diremos que en dicho contexto los docentes se ven en ocasiones enfrentados a discusiones que toman tiempo y sobre las cuales parece difícil decidir.

Teniendo en cuenta lo anterior, creemos que estos elementos pueden ser parte del sistema de condicionantes (empíricos y teóricos) que estimula en los docentes ciertas formas de problematización. Una tipología de perfiles que hemos encontrado en función de elementos de esta cultura, dan cuenta de una diversidad de prácticas experimentales posibles a partir de la situación abierta que hemos propuesto. Estos resultados, obtenidos a partir de referencias sobre la imagen o el conocimiento que los docentes poseen de la ciencia, podrían entenderse como complementarios a una tipología de problemas obtenida a partir de los fundamentos teóricos de la actividad de la problematización.

[Q3]: ¿Cuáles son las adaptaciones necesarias del marco teórico de la problematización para el análisis de la construcción de problemas en el contexto de una formación docente sobre el fenómeno del rebote de las esferas?

Iniciaremos esta discusión, con una mirada general de los elementos de respuesta para esta pregunta. En primer lugar, resaltamos el hecho de que las actividades de problematización sobre el rebote de las esferas fueron analizadas desde la dimensión de los conocimientos en física, lo que implica admitir una nueva interpretación de

⁸⁴ Entendidos en el sentido de obstáculos epistemológicos de Bachelard o asociados a la idea de concepciones de estudiantes.

los modelos explicativos, que tenga en cuenta una dimensión experimental y que no es necesariamente la misma que observamos en prácticas experimentales del cotidiano escolar.

En ese sentido, observamos que, con el ánimo de responder a las preguntas propias de la física, o de resolver los diferentes problemas que la física puede abordar, estos modelos pueden adquirir ciertas particularidades. Por ejemplo, las explicaciones pueden tomar rápidamente la forma de relaciones matemáticas entre magnitudes físicas. Esto con el fin de encontrar una ley: signo de una regularidad o criterio determinante para formular una predicción. En ese contexto, la dimensión empírica alberga elementos propios de una experimentación en física, es decir, el uso de la experiencia de laboratorio para decidir sobre la validez de una ley. Los modelos explicativos entendidos desde el punto de vista de la problematización como una interacción entre elementos de registro empírico y teórico, podrían recibir así una carga adicional proveniente de una dimensión empírico – experimental, privilegiando las evidencias a las abstracciones.

Esta forma de interpretación se muestra coherente con algunas evidencias encontradas en el desempeño de los docentes: todos los grupos que accedieron al medio experimental buscaron establecer una ley fenomenológica, a esto se adiciona el hecho de que las explicaciones a cuestionamientos de tipo “por qué” así como de tipo “cómo” buscaron ser resueltas mediante el establecimiento de este tipo de relaciones.

El análisis de las prácticas de los docentes desde la perspectiva de la problematización, implica integrar esta interpretación a un análisis detallado que proporcionará criterios para decidir sobre la naturaleza científica de las construcciones constatadas. Consecuentemente, las “necesidades”, expresión concreta de la construcción de un problema, admite una naturaleza más “empírica” ligada a las condiciones experimentales dentro de las que se desarrolla nuestra formación.

En cuanto a los registros explicativos que justifican la identificación y naturaleza de los condicionantes, cabe señalar que el reducido número de investigaciones sobre la problematización en el campo de la enseñanza de la física no nos permite prever las formas posibles que estos pueden tomar en el estudio del rebote de las esferas. Las aproximaciones obtenidas al respecto pueden representar un referente para investigaciones posteriores.

Para cerrar esta visión general y pasar a detalles propios de la adaptación metodológica, consideramos importante señalar una posible derivación de la naturaleza de la actividad de problematización, por el hecho de introducirla en el contexto de una práctica de indagación inspirada en los principios planteados por Dewey. Es así como aclaramos que en la tradición propia de trabajos de problematización, observamos que las preguntas asociadas a los fenómenos son planteadas desde un principio por el educador o formador. En nuestro caso, las preguntas sobre el fenómeno no están predefinidas: el formador propone una situación indeterminada y los docentes en formación se encargan de formular las preguntas al respecto.

Ahora bien, para discutir las estrategias de adaptación con más detalle, diremos que para el análisis de dichas prácticas, se ha realizado una adaptación de las herramientas metodológicas a dos escalas: la primera (macro), se refiere a la sucesión de los problemas construidos y la segunda (micro), a la construcción diferenciada de

cada problema en función del contexto (es decir, las diferentes prácticas emprendidas por cada grupo de docentes), dichas adaptaciones son descritas a continuación:

1. Adaptación de la herramienta “macro estructura”: la dimensión experimental nos lleva a ubicar en el dominio de “posibles” los procedimientos experimentales que resultan de las preguntas formuladas. Estas últimas pueden ser identificadas en el discurso de los docentes o ser inferidas de la lógica de una actividad puesta en práctica (explicaciones o procedimientos enunciados). La articulación entre los “posibles” y las “objeciones”, leída a partir de las representaciones esquemáticas, contribuye a la identificación de la creación de “necesidades”, de esta forma se establecen perspectivas para un análisis detallado que da cuenta de la construcción de un problema. A partir del conjunto de articulaciones se ha inferido una dinámica de problematización que es constituida esencialmente por la profundización en el tratamiento de una pregunta, o la expansión del campo de “posibles” (dentro del cual se contempla el elemento de solución que adquirirá el carácter de necesario).
2. Adaptación de la herramienta “espacio de condicionantes”: Los momentos de contradicción (observados en los esquemas macro estructuras) nos ayudan a identificar los posibles condicionantes que son diferenciados en dos registros; (empíricos y teóricos) para luego, ser relacionados (en una nueva lectura de los intercambios verbales) con la creación de “necesidades”. Dicho de otro modo, a partir del “espacio de condicionantes” buscamos esclarecer la contribución de los condicionantes, en función de su naturaleza, con la construcción de un problema.

PERSPECTIVAS

1. Una extensión del estudio en el campo disciplinar

La presente investigación plantea criterios de análisis para un estudio más amplio sobre las formas de construcción de problemas en física por los docentes en ejercicio en el marco de prácticas basadas en la indagación. De forma complementaria con estudios en otros aspectos (confianza y motivación, PCK, naturaleza de las ciencias, motivación de los estudiantes, competencias científicas, etc.) nuestra investigación se quiere como una alternativa para acceder a los procesos cognitivos y su evolución mediante el tratamiento de un tema (o varios) propio(s) de la disciplina.

En este sentido, abrimos la posibilidad de continuar este estudio en otras situaciones en el campo de la física, lo que permitiría sentar las bases de las tendencias de construcción que hemos encontrado mediante la aplicación de nuestras categorías al estudio del rebote. La confirmación de una misma tipología de problemas y tendencias similares en las prácticas experimentales (que dan cuenta de una diversidad de prácticas de indagación), así como de un efecto similar de la confrontación de los docentes a un sistema de condicionantes y la consecuente inscripción en registros explicativos (enfocados a un análisis intra e inter objeto), podrían dar prueba de la caracterización de una dinámica de problematización.

Teniendo en cuenta lo anterior, nuestra proposición de formación se proyecta como una heurística, en el campo de la enseñanza de la física, donde se esclarecen algunos elementos constitutivos de una situación propicia para el desarrollo de la actividad de la problematización (es decir, el proceso de determinación de una situación indeterminada) y en consecuencia para la construcción de conocimientos científicos.

La reproducción de una situación de formación en condiciones similares, implica la elección de un tema o situación explotable en el campo de la física. De igual manera, se hace necesario que este tema pueda ser tratado de una forma similar que en el caso del rebote de las esferas; es decir, que presente la posibilidad de construir una diversidad de problemas y una diversidad de prácticas experimentales. Por último, es deseable que la construcción de magnitudes físicas a través de la elaboración de las diversas relaciones entre ellas, sea posible a través de la experimentación.

En ese sentido, algunas investigaciones sugieren en el estudio del péndulo, una amplia tradición de estudio en el plano de la investigación como en el plano disciplinar: el estudio de (Koliopoulos, Boilevin, Dossis, Paraskevopoulou, & Ravanis, 2013), se basa en esta tradición, para analizar a través del estudio del péndulo, la relación que sostienen dos grupos de docentes (franceses y griegos) con tres dimensiones del saber científico (cultural, conceptual y metodológico). En lo que respecta al campo conceptual, esta investigación trabaja sobre la construcción de relaciones cualitativas entre las diferentes magnitudes (periodo vs peso, periodo vs longitud,

carácter isócrono del movimiento), buscando identificar las características conceptuales fundamentales aplicadas como respuesta a una pregunta en particular: “la duración necesaria para ejecutar una oscilación simple: 1/ aumenta, 2/ disminuye, 3/ no cambia, 4/ no sabe” (p 174, nuestra traducción). El estudio de 260 respuestas explotables a través de 267 cuestionarios sugiere que “los estudiantes de esta muestra no disponen de una visión coherente con la dimensión conceptual del saber científico en juego” (nuestra traducción, p 174).

Por otro lado, en un estudio anterior enfocado en estudiantes de primaria, Flandé (2000), señaló la dificultad de acompañar prácticas experimentales en situaciones abiertas, refiriéndose específicamente al estudio del aislamiento térmico. Por esta razón propuso, en el estudio del péndulo, un contexto más guiado o dirigido mediante el cual se prepara inicialmente al estudiante a la medición del periodo de oscilación (en cuanto a los principios, las técnicas, etc.) y luego se le proponen alternativas de estudio centradas en las posibles influencias de magnitudes físicas sobre el periodo. El autor manifiesta, que en esta intervención, el docente otorga a los estudiantes una cierta autonomía en el marco de la elaboración de hipótesis y la consecuente medición experimental, propiciando una diversidad de prácticas. No obstante, observamos que cierra las posibilidades de estudio a la determinación de ciertas influencias específicas (masa o naturaleza del objeto, longitud o naturaleza de la cuerda). El autor señala: “en una situación menos abierta, menos rica, los estudiantes ganan en autonomía y en iniciativa” (p 208), afirmación que nos lleva a cuestionarnos sobre las posibilidades de una apropiación del problema de parte del estudiante.

El autor sugiere, por otra parte, que la intervención del docente se hace indispensable para “canalizar” el trabajo de los estudiantes, su presencia se proyecta como garantía de la calidad científica de las producciones de los estudiantes (p 207). Observamos por otra parte un señalamiento particular de parte del autor, cuando manifiesta que en esta sesión “se trata de estudiar una magnitud [el periodo] cuyo valor no varía a lo largo del tiempo” (nuestra traducción, p 62), donde se aclara que no es fácil para los estudiantes pensar en el periodo como una magnitud constante. La situación vista de esta manera puede presentar cierta proximidad con el estudio del rebote en lo que se refiere a la búsqueda de relaciones constantes entre magnitudes, por ejemplo. Del estudio de Flandé (2000), pueden observarse respuestas de los estudiantes (de 9 a 11 años) de tipo: el periodo depende de la masa, o el periodo depende de la naturaleza de la cuerda, y otras como entre más bajo se encuentre la masa, más rápido se desplaza, etc.

Estudios como los descritos anteriormente, nos llevan a proponer una situación más abierta que permita a los docentes la proposición espontánea de diferentes cuestionamientos en el área de la física, con el fin de crear condiciones similares a aquellas establecidas para el estudio del rebote.

Teniendo en cuenta lo anterior, consideramos en el marco de una formación docente sobre la construcción de problemas frente al péndulo, la formulación del enunciado siguiente como punto inicial de nuestra formación:

Ustedes son científicos que desean estudiar el péndulo. ¿Qué aspectos en particular les interesaría estudiar?

Se trata formular una pregunta (o problema) de carácter científico, que pueda ser resuelta con el experimento que ellos proponen. Para ello hay que considerar que no se cuenta con material especializado de laboratorio sino con material propio de un salón de clase y que ellos mismos realizarán los montajes y las medidas respectivas. Este experimento deberá permitirles obtener conclusiones que los satisfaga en términos aprendizaje en ciencias. El formador no expresa ningún tipo de expectativas en lo que se refiere a los conocimientos científicos deseados, no hay preferencia por un cierto tipo de conocimientos. El formador incentivará a los profesores a evaluar sus resultados y conclusiones en términos de lo que ellos esperaban, lo que obtuvieron y de lo que aprendieron gracias a esta práctica experimental.

Nuestra intención consiste en promover un ambiente de construcción de aprendizaje donde los profesores sientan la confianza de proponer estrategias de solución al enunciado sugerido. La elección de estas estrategias debe ser libre y por lo tanto evitaremos al máximo el uso de términos que sugieran el tratamiento de un tema en particular como la gravedad, la fricción, la fuerza, el peso, etc. Es posible que si sugerimos consciente o inconscientemente estos términos, los profesores se sientan obligados a estudiar estos temas. Por esta razón, evitaremos expresiones como: “estas pesas son: más grandes, más livianas, mejores...”, “aquí presentamos cuerdas de diferente longitud...” “ustedes pueden construir péndulos que oscilen muy rápido”, etc.

Durante la intervención el formador evitará imponer procedimientos, pero en caso de bloqueo (cuando los profesores no saben qué hacer), se propondrán alternativas bajo la forma de cuestionamientos. Por ejemplo: si los profesores han escogido medir el tiempo que tardan en oscilar diferentes péndulos, en su experimento el tiempo total de oscilación es muy largo y las diferencias no son evidentes, el formador puede proponer la búsqueda de otras alternativas que permitan acercarse a los objetivos, como por ejemplo la construcción de otros péndulos donde se pueda disminuir este problema. También podría pensarse en la búsqueda de otras formas de facilitar la medición, o la formulación del problema como tal.

El taller se compondrá de 3 partes principales después de la presentación del enunciado

1. Los profesores reflexionan al respecto sin conocer el material: Ellos discuten sobre que les hace pensar el enunciado, que temas estarían relacionados, las posibles preguntas a formular, los posibles montajes a realizar. A partir de ellos los profesores construyen un mapa conceptual⁸⁵. Entre las opciones propuestas de problemas (preguntas) a analizar, ellos escogerán uno solo, a partir de esta elección ellos definirán los materiales que necesitarán.
2. Elección del material y experimentación: Una vez que los profesores tienen una idea de lo que van a estudiar y qué materiales necesitarán, comentan esta decisión al formador y éste los invita a tomar el material (la idea es que el material disponible no condicione sus decisiones iniciales, por ello se evita que los profesores escojan el material sin tener claro que van a hacer). Seguramente existirán

⁸⁵ « Mapa conceptual es una técnica usada para la representación gráfica del conocimiento. Un mapa conceptual es una red de conceptos. En la red, los nodos representan los conceptos, y los enlaces representan las relaciones entre los conceptos. ». Definición tomada de Wikipedia. Consultada el 18/08/2014. http://es.wikipedia.org/wiki/Mapa_conceptual

ocasiones en las que no se cuenta con el material deseado, los profesores tendrán que elegir el material de tal forma que su experimentación no se aleje demasiado de sus intereses.

El material propuesto es el siguiente:

- Hilo de nylon en tubino o en madeja (cada quien cortará lo que necesite)
- Tijeras
- Tuercas de diferentes tamaños
- Pesas macizas de iguales y diferentes tamaños y masas
- Soportes Universales
- Transportadores
- Papel blanco
- Marcadores
- Cinta / Plastilina
- Metros, reglas
- Cronómetros
- Balanzas (digitales)

A partir de ese momento ellos empezarán a experimentar. De acuerdo a sus resultados y observaciones ellos podrán cambiar el material en el momento en que lo deseen, las veces que lo deseen. El formador estará atento a la evolución de esta experimentación: preguntará sobre las razones del cambio, qué les parece bien, qué no les parece bien, que esperan con una nueva elección de material. Hará énfasis sobre lo que ha pasado con la pregunta inicial, ¿sigue igual? ¿ha cambiado? ¿cuál es la nueva pregunta?...etc. Como no hay un resultado esperado, el formador evitar juzgar los procesos o los resultados, al contrario el los resalta y valora los aspectos fundamentales.

Si el formador observa que en algún momento se realiza el uso inadecuado de un concepto, se está cometiendo algún error en las medidas o las preguntas se salen de contexto, buscará sugerir a los profesores contra-ejemplos o pondrá en evidencia las dificultades que pueden encontrar si procedieran de esa manera. Así, se encaminará el trabajo de los profesores y evitará que ellos pasen demasiado tiempo realizando acciones que no los conducen a nada o que pueda eventualmente bloquearlos.

3. Socialización: Un representante del grupo expondrá de forma breve los resultados obtenidos. Para ello tendrá en cuenta la pregunta inicial, si esta pregunta ha cambiado, cómo ha cambiado, cuáles fueron las mediciones y cuáles fueron los resultados, etc. Luego de haber escuchado a un representante de cada grupo, el formador en lo posible, asociará los resultados encontrados con aspectos relacionados a la teoría en física. Con este ejercicio es posible evidenciar que aún sin tener profundos conocimientos al

respecto, esta experiencia les permite construir por ellos mismos conocimientos que encuentran su lugar y validez en física.

Hemos realizado un primer test en una comunidad de profesores⁸⁶ con características similares a los profesores que han trabajado el estudio del péndulo. Las prácticas de indagación revelan en efecto una diversidad de problemas que pueden ser abordados a través de la formulación del enunciado abierto que hemos diseñado. Cada uno de los grupos trabajó un problema diferente con relación a las preguntas que se formularon a lo largo del taller de formación:

Las prácticas de todos los grupos se relacionan con el caso del péndulo simple. En una primera aproximación puede desprejarse el efecto del rozamiento del aire sobre las oscilaciones. Por esta razón las oscilaciones parecen reproducirse de forma idéntica a lo largo del tiempo y se estima que la energía mecánica se conserva. Si el péndulo se suelta a partir de ángulos pequeños, el período, o tiempo de una oscilación, solo depende de la longitud del péndulo y no de la masa del péndulo. Esto no quiere decir, que en la experimentación se presente un movimiento perpetuo (que corresponde a un caso ideal), pero los intervalos de tiempo utilizados para la experiencia no permiten observar los cambios la disminución lenta y progresiva de la amplitud de oscilación. El estudio de los dos primeros grupos puede inscribirse en este contexto. Una descripción muy general de las prácticas observadas se presenta a continuación:

El primer grupo formuló al inicio tres preguntas sobre la “incidencia” de ciertas magnitudes sobre el periodo de oscilación (definido como el tiempo que tarda el péndulo en ir y venir): ángulo de partida, la longitud del ángulo y la masa. La evocación de conocimientos en contextos de aprendizaje anteriores contribuye a la elección del **estudio de la incidencia de la longitud de la cuerda sobre el periodo y preguntarse si esta incidencia daba cuenta de una proporcionalidad**. Este grupo encontró que el cuadrado del periodo era proporcional a la longitud del péndulo.

El segundo grupo, se cuestionó inicialmente sobre el carácter del movimiento: si éste se presenta de forma regular o no, qué es lo que provoca este movimiento y a qué se debe que el péndulo se detenga en un momento dado. **El problema propuesto se trata de saber por una parte hasta dónde puede subir el péndulo, lo que involucra, conocer la amplitud máxima de oscilación y por otra, como hacer para que el péndulo oscile el mayor tiempo posible**. A lo largo de la práctica el grupo intentó ver como variaban las oscilaciones en función del ángulo de partida y encontró de forma implícita que el periodo no varía en función de la amplitud (trabajando en el contexto de ángulos pequeños).

El estudio realizado por el tercer grupo, puede inscribirse en el caso en donde se tiene en cuenta los efectos de la fricción de aire. En ese caso el movimiento no se repite de forma idéntica, el péndulo pierde progresivamente su energía, lo que no le permite recorrer el ángulo inicial. Si dichos efectos se observan de forma significativa en la disminución de la velocidad, las oscilaciones disminuyen rápidamente y se considera un régimen “crítico”. La modelización respecto a la intervención de las fuerzas de fricción no es sencilla, pero podrían admitirse los casos

⁸⁶ Docentes franceses con una primera experiencia de enseñanza en la escuela primaria.

donde la disminución de las oscilaciones obedece a un comportamiento exponencial (si se considerara que la fuerza de fricción es proporcional a la velocidad) o a un comportamiento lineal (si se considera que la fuerza de fricción es constante a lo largo de las oscilaciones).

En efecto, el último grupo se preguntó **si la naturaleza del péndulo era detenerse o bien, si corresponde a tener un movimiento perpetuo**. Este cuestionamiento los lleva a pensar en los diferentes factores que pueden causar la disminución de las oscilaciones así como en el hecho de que el péndulo es utilizado para medir el tiempo, lo que implicaría la expresión de una cantidad definida de este. El grupo de estudiantes busco construir un péndulo que dejara de oscilar al cabo de un minuto; al no lograrlo, prolongaron el intervalo de tiempo a 15 minutos, al no lograrlo terminaron por renunciar a este problema. Los docentes se encontraron frente a un movimiento periódico cuya disminución de las oscilaciones era imperceptible en los intervalos de tiempo estipulados y con los instrumentos de medida escogidos (cronometro). De haber continuado con el estudio, posiblemente en intervalos más prolongados o con mediciones más precisas, este grupo hubiera podido describir la lenta disminución de las oscilaciones y buscar una aproximación ya sea en términos de una curva exponencial o de una línea recta.

Este primer test da cuenta de la posibilidad de una diversidad de problemas y en general de una diversidad de prácticas experimentales. Podemos asemejar las condiciones observadas en el estudio del péndulo y el estudio del rebote, en términos de tratamiento de magnitudes para la construcción de una magnitud física (expresión de una ley) a través de la interpretación de una regularidad tanto de oscilaciones (periodo constante para una longitud dada) como de rebotes (coeficiente de restitución). No percibimos esta proximidad en la construcción de otras magnitudes físicas, por la vía experimental, que han sido igualmente puestas a prueba como por ejemplo la construcción de la densidad, cuya aplicación no ha dado cuenta de resultados con un enfoque en ese sentido.

Para una construcción de este tipo se hacen necesarias reflexiones en torno a las condiciones iniciales (p. ej. ángulo de partida) y la elección de magnitudes variables (amplitud o ángulo de oscilación, velocidad de la esfera, masa, posición, longitud de la cuerda, etc.), reflexiones de este tipo, abordadas por los docentes, han podido ser comparables a conocimientos admitidos en el plano de la física.

Lo anterior nos lleva a admitir la posibilidad de estudiar el fenómeno bajo los criterios de problematización (tipología de problemas, registros explicativos, etc.) y cultura epistemológica adyacente o como lo hemos señalado: una cultura epistemológica “espontánea” desarrollada por los docentes mediante cuestionamientos del mismo corte, sobre la construcción de conocimientos (discutiremos sobre este punto en la siguiente sección).

Las primeras evidencias recogidas de la aplicación de esta nueva propuesta, son coherentes con la construcción de una formación que toma la forma de una situación heurística en el campo de la formación científica docente.

2. Una extensión del estudio en términos de una cultura epistemológica

De la misma forma en que una extensión el ámbito disciplinar puede ser concebida, consideramos que elementos que hacen parte de una cultura epistemológica espontánea percibidas en el trabajo de los docentes durante la formación propuesta, pueden ser estudiados de manera más precisa. En efecto, los docentes se ven frecuentemente enfrentados a discusiones y toma de decisiones que conciernen al plano de los conocimientos sobre la actividad científica. De esta manera podemos asociar dichas situaciones a los diversos planteamientos en el campo de la investigación, relacionados con la relación que los docentes mantienen con la naturaleza de la ciencia (NOS) (Brickhouse 1990, Lederman 1992, Appleton, 2003). Algunas pistas de exploración en este sentido pueden ser desarrolladas, basándose en evidencias como:

- la dificultad a considerar la no dependencia (p. ej. el rebote no depende de la masa de las esferas) como un resultado de la investigación; y en general la no aceptación de los resultados que llamamos negativos (que comprende por ejemplo la dificultad de descartar una variable en el estudio del rebote).
- el hecho de que ciertos cuestionamientos no pudieran ser ligados a protocolos experimentales (“no podemos imaginar un protocolo que responda a la pregunta por qué”),
- en complemento al punto anterior, la transformación de preguntas “por qué”, en preguntas “cómo”, en el sentido en que ambas buscan determinar posibles influencias de magnitudes físicas sobre el rebote,
- la formulación de una pregunta que, desde el punto de vista de los docentes, se muestra no fecunda en términos de construcción; evidencia que se justifica por ejemplo, por la dificultad de los docentes a concluir su práctica (expresiones como “nos encontramos atrapados”, “concluimos pero no es la idea”, “no sabemos cómo explicar”),
- la presencia reducida de la formulación de hipótesis en las prácticas espontáneas de los docentes,
- la búsqueda mayoritaria a establecer una relación entre dos magnitudes físicas, entre otros.

Las evidencias anteriores pueden representar indicios sobre la forma en cómo los docentes perciben la actividad científica, por ejemplo sobre la importancia de construir un problema, la diversidad de preguntas que pueden surgir a partir de una situación, la posibilidad de que entre esas preguntas existan algunas no fecundas en el marco de una práctica experimental, el ensayo y error, el abandono permanente de preguntas, etc.

En consecuencia, consideramos, en concordancia con lo planteado por Abd-El-Khalick (2001), que este tipo de formaciones basadas en la indagación serían aprovechables en términos de conocimientos sobre la naturaleza de las ciencias, si se hiciera mayor énfasis en los elementos relacionados con ella (p 215). Pensamos por ejemplo, en el rol del problema, la existencia de “un” método científico, la naturaleza (objetiva – subjetiva) de los conocimientos científicos, etc., como elementos de discusión que pueden ser propuestos a los docentes en

momentos determinados de la formación. Esta pista merece un espacio más amplio de discusión en investigaciones posteriores.

Bibliografía

- AAAS. (1985). Project 2061 - Science Literacy for All in the 21st Century. Disponible en: <http://www.project2061.org/about/default.htm>
- Abd-El-Khalick, F. (2001). Embedding Nature of Science Instruction in Preservice Elementary Science Courses: Abandoning Scientism, But.... *Journal of Science Teacher Education*, 3(12), 215–233.
- Académie de Sciences. (2010). *Avis et recommandation de l'Académie des sciences portant sur la formation continue de professeurs enseignant les sciences à l'école, au collège et au lycée*. Disponible en <http://www.academie-sciences.fr/activite/rapport/avis301110.pdf>
- Adb-ek-Khalick, & Lederman. (2000). Improvingscience teachers'conceptions ofnatureof science: a critical review of the literature. *Journal of Research in Science Teaching*.
- Appleton, K. (2003). How do beginning primary school teachers cope with science? Toward an understanding of science teaching practice. *Research in Science Education*, 33(1), 1–25.
- Arsac, G., & Mante, M. (2007). *Les pratiques du problème ouvert*. Lyon: CRDP de l'académie de Lyon.
- Artigue, M., & Houdement, C. (2007). Problem solving in France: didactic and curricular perspectives. *ZDM*, 39(5-6), 365–382. doi:10.1007/s11858-007-0048-x
- Astolfi, J.-P. (1995). Quelle formation scientifique pour l'école primaire? *Didaskalia*, 7, 105–112.
- Bachelard, G. (1938/1993). *La formation de l'esprit scientifique*. Vrin Paris.
- Bachelard, G. (1949). *Le rationalisme appliqué*. Paris: PUF.
- Bachelard, G. (1994). *La formación del espíritu científico*. México: Siglo Veintiuno.
- Bardin, L. (1977). *L'analyse de contenu*, Eds. Puf, Paris.
- Barrera-Osorio, F., Maldonado, D., & Rodríguez, C. (2012). *Calidad de la educación básica y media en Colombia: Diagnóstico y propuestas*. Universidad del Rosario. Disponible en http://www.urosario.edu.co/urosario_files/7b/7b49a017-42b0-46de-b20f-79c8b8fb45e9.pdf
- Barrow, L. H. (2006). A Brief History of Inquiry: From Dewey to Standards. *Journal of Science Teacher Education*, 17(3), 265–278. doi:10.1007/s10972-006-9008-5
- Beorchia, F. (2005). Débat scientifique et engagement des élèves dans la problématisation: Cas d'un débat sur la commande nerveuse du mouvement en CM2 (10-11 ans). *Aster*, 2005, 40“ *Problème et Problématisation*.” Disponible en <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8858>
- Boilevin, J.-M. (2005). Enseigner la physique par situation problème ou par problème ouvert. *Aster*, 2005, 40“ *Problème et problématisation*”, 13–37.

- Boilevin, J.-M. (2013). La place des démarches d'investigation dans les sciences. In *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation* □: *Des formations et des pratiques de classe*. Grenoble: PUG.
- Briaud, P. (2013). Activités de groupe dans un apprentissage par problématisation □: une étude de cas en physique. En *AREF 2013*.
- Brickhouse, N. W. (1990). Teachers' beliefs about the nature of science and their relationship to classroom practice. *Journal of Teacher Education*, 41(3), 53–62.
- Brousseau, G. (1998). La théorie de situations didactiques. Grenoble: La pensée sauvage.
- Brunet, P. (1998). Enseigner et apprendre par problèmes scientifiques dans les sciences de la vie état de la question. *Aster*, "Thèmes, Thèses, Tendances.", 27, 145 - 181
- Bunge, M. (1969). *La ciencia. Su método y su filosofía*. Buenos Aires: Siglo Veinte.
- Bunge, M. (1996). *Filosofía de las ciencias naturales y sociales*. UNT.
- Caldas, H., & Saltiel, E. (1995). Le frottement cinétique: analyse des raisonnements des étudiants. *Didaskalia*, 6, 55–71.
- Calmettes, B. (2009). Milieu didactique et démarche d'investigation en physique Analyses de pratiques ordinaires. Disponible en <http://halshs.archives-ouvertes.fr/hal-00355735/>
- Calmettes, B. (2012). Démarche d'investigation □: analyses de pratiques ordinaires en classe et en formation. Perspectives curriculaires. In B. Calmettes (Ed.), *Didactique des sciences et démarches d'investigation: Références, représentations, pratiques et formation* (pp. 153–179). L'Harmattan
- Canguilhem, G. (1965). *La connaissance de la vie*. Vrin.
- Cariou, J.-Y. (2003). La formation de l'esprit scientifique-trois axes théoriques, un outil pratique: DiPHTeRIC. Disponible en: http://18b-gouttedor.scola.ac-paris.fr/img/pdf/oheric_diphtheric_2004.pdf
- Cariou, J.-Y. (2009). *Former l'esprit scientifique en privilégiant l'initiative des élèves dans une démarche s'appuyant sur l'épistémologie et l'histoire des sciences*. Université de Genève. Disponible en <http://hal.archives-ouvertes.fr/tel-00521174/>
- Castro, G. C. (2009). Hacia la consolidación de la comunidad académica en educación: tendencias e indicadores sobre las capacidades de formación e investigación en Colombia. *Itinerario Educativo: Revista de La Facultad de Educación*, (54), 49–72.
- Chalmers, A. (1987). *Qu'est-ce que la science?* (M. Biezunski, Trans.). Paris: Editions la découverte.
- Crépin-Obert, P. (2010). *Construction de problèmes et obstacles épistémologiques à propos du concept de fossile: étude épistémologique comparative entre des situations de débat à l'école primaire et au collège et des controverses historiques du XVIIe au XIXe siècle*. Université de Nantes.

- De Buzon, F., & Carraud, V. (1994). *Descartes et "Les Principia". Tome 2, Corps et mouvement*. Presses universitaires de France.
- Desautels, J., Larochelle, M., Gagne, B., & Ruel, F. (1993). La formation à l'enseignement des sciences: le virage épistémologique. Disponible en <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/20172>
- Dewey, J. (1938a). Pattern of inquiry.pdf. In *The theory of inquiry* (pp. 1 – 10). Disponible en línea. www2.sunysuffolk.edu/osullis/spring07/courses/page0/history/documents_files/Dewey_pattern_of_inquiry.pdf
- Dewey, J. (1938b). *The theory of inquiry*. New York: Holt, Rinehart & Wiston. Retrieved from <http://www.seconroad.net/foundations/practical/01DeweyLogicOfInquiry.pdf>
- Drevillon, J. (1988). Reconnaissance d'une situation-problème et fonctionnement cognitif. *Revue Française de Pédagogie*, 82(1), 9–14. doi:10.3406/rfp.1988.1455
- Duchesneau, F. (1994). *La dynamique de Leibniz*. Paris: Vrin.
- Dumas-Carré, A. (1987). La résolution de problème en physique au lycée. Tesis de Doctorado. Université Paris-Diderot-Paris VII, Paris.
- Dumas-Carré, A., Caillot, M., Martinez-Torregrosa, J., & Gil-Perez, D. (1989). Deux approches pour modifier les activités de résolution de problèmes en physique dans l'enseignement secondaire: une tentative de synthèse. Retrieved from <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/9158>
- Equipo Pequeños Científicos. (2002). Pequeños Científicos en la Escuela Primaria. *Revista Colombiana Ciencia y Tecnología*, 20(1), 26–33.
- Fabre, M. (1997). Pensée pédagogique et modèles philosophiques □: le cas de la situation-problème. *Revue Française de Pédagogie*, 120(1), 49–58. doi:10.3406/rfp.1997.1155
- Fabre, M. (1999). *Situations-problèmes et savoir scolaire*. Paris: PUF.
- Fabre, M., & Orange, C. (1997). Construction des problèmes et franchissements d'obstacles. *Aster*, 1997, "Obstacles: Travail Didactique.", 24. 38-57
- Fawaz, A., & Viennot, L. (1986). Image optique et vision. *Bulletin de l'Union Des Physiciens*, 686, 1125–1146.
- Flandé, Y. (2000). Protocoles expérimentaux, tests d'hypothèses et transfert, en sciences, à l'école primaire Tesis de Doctorado. Paris Diderot - Paris 7, France.
- Fensham, P. J. (2002). De nouveaux guides pour l'alphabétisation scientifique. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 2(2), 133–149. doi:10.1080/14926150209556506
- Figueroa, M. (2011). *An Inquiry Into Inquiry Science Teaching in Colombia*. Tesis de Doctorado. Stanford University, Stanford, California.
- Fondation de Treilles. (1996). *La main à la pâte. Les sciences à l'école primaire*. Flammarion.

- Frega, R. (2006). *John Dewey et la philosophie comme épistémologie de la pratique*. Harmattan
- Freitas, I. M., Jiménez, R., & Mellado, V. (2004). Solving physics problems: The conceptions and practice of an experienced teacher and an inexperienced teacher. *Research in Science Education*, 34(1), 113–133.
- Furio Mas, C. J., Iturbe Barrenetxea, J., & Reyes Martin, J. V. (1994). Contribución de la resolución de problemas como investigación al paradigma constructivista de aprendizaje de las ciencias, (24), 89–100.
- Gallego Badillo, R., Pérez Miranda, R., Gallego, T. de, & Nery Torres, L. (2004). Formación inicial de profesores de ciencias en Colombia: un estudio a partir de programas acreditados. *Ciência & Educação (Bauru)*, 10(2), 219–234.
- Garcia Jaramillo, S., Maldonado Carrizosa, D., Perry Rubio, G., Rodriguez Orgales, C., & Calvo, J. E. S. (2014). *Tras la excelencia docente*. Fundación Compartir. Disponible en: <http://www.fundacioncompartir.org/pdf/Tras%20la%20excelencia%20docente%20-%20estudio%20final.pdf>
- Garret, R. M. (1988). Resolución de problemas y creatividad: implicaciones para el currículo de ciencias. *Enseñanza de Las Ciencias*, 6(3), 229–230.
- Gil Pérez, D. & Martínez Torregrosa, J. (1987). La résolution de problème comme instrument de changement conceptuel et méthodologique. *Petit X*, 14-15, 25–38.
- Gil Pérez, D., Martínez Torregrosa, J., & Senent Pérez, F. (1988). El fracaso en la resolución de problemas de física: una investigación orientada por nuevos supuestos. Retrieved from <http://193.145.233.67/dspace/handle/10045/33495>
- Gil-Perez, D. (1993). Apprendre les sciences par une démarche de recherche scientifique. *Aster*, (17), 41–64.
- Gil-Perez, D., & Vilches-Peña, A. (2001). Una alfabetización científica para el siglo XXI obstáculos y propuestas de actuación, 43, 27–37.
- Giordan, A. (1976). *Rien ne sert de courir, il faut partir à point*. Tesis de Doctorado. Paris V et Paris VII, Paris.
- Giordan, A. (1999). *Une didactique pour les sciences expérimentales*. Paris: Belin.
- Gobert, J., & Lhoste, Y. (2011). Démarches d'investigation et problématisation en classe de SVT: quelle mise en oeuvre par des enseignants débutants? Présentado en Deuxièmes journées d'étude S TEAM, Grenoble.
- Goh, N. (1993). Some Misconceptions in Chemistry: A Cross-Cultural Comparison, and Implications for Teaching. *Australian Science Teachers Journal*, 3(39), 65–68.
- Grangeat, M. (Ed.). (2013). *Les Enseignants de sciences face aux démarches d'investigation*. Presse Universitaire de Grenoble.

- Grimmett, P. P., & MacKinnon, A. M. (1992). Craft Knowledge and the Education of Teachers. *Review of Research in Education*, 18, 385. doi:10.2307/1167304
- Grossman, P. L. (1990). *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education*. New York: Teachers College Press.
- Grouleau, A. (2011). *Les rapports à la Physique et à l'enseignement de la physique de futures enseignantes du primaire inscrites dans un profil d'étude collégiales en éducation*. Mémoire de recherche, Département d'études sur l'enseignement et l'apprentissage. Faculté des sciences de l'éducation Université Laval. Québec.
- Gyllenpalm, J., Wickman, P.-O., & Holmgren, S.-O. (2010). Secondary science teachers' selective traditions and examples of inquiry-oriented approaches. *Nordic Studies in Science Education*, 6(1), 44–60.
- Hacking, I. (2006). La philosophie de l'expérience □: illustrations de l'ultrafroid. *Tracés*, (11), 195–227. doi:10.4000/traces.264
- Halloun, I., & Hestenes D. (1985). Common sense concepts about motion. *Am. J. Phys*, 53 (11), 1056 - 1065.
- Harlen, W. (2004). Evaluating inquiry-based science developments. In *Evaluation of Inquiry-based Science*. National Academy of Sciences
- Harlen, W., & Holroyd, C. (1997). Primary teachers' understanding of concepts of science: impact on confidence and teaching. *International Journal of Science Education*, 19(1), 93–105. doi:10.1080/0950069970190107
- Hayes, M. T. (2002). Elementary preservice teachers' struggles to define inquiry-based science teaching. *Journal of Science Teacher Education*, 13(2), 147–165.
- Hernandez, C., Buzzo, R., & Rivera, R. (2008). Measurement of the conceptual change produced in pre-school and elementary teachers based on MECIBA training methodology. *Lat. Am. J. Phys. Educ*, 2(3), 167 – 173.
- Hersant, M., & Orange-Ravachol, D. (2012). La démarche d'investigation, les mathématiques et les SVT □: des problèmes de démarcation aux raisons d'une union. In *Actes du colloque EMF2012*. Genève. 3-7 febrero, 2012
- Houdement, C. Y. (2013). *Au milieu du gué: entre formation des enseignants et recherche en didactique des mathématiques*. HDR. Université Paris-Diderot-Paris VII. Disponible en <http://hal.archives-ouvertes.fr/tel-00957166/>
- Howes, E. V., Lim, M., & Campos, J. (2008). Journeys into inquiry-based elementary science: Literacy practices, questioning, and empirical study. *Science Education*, 93(2), 189–217. doi:10.1002/sce.20297
- Huneman, P. (2001). *Les sciences de la nature et les sciences de l'homme*. Paris: Ellipses.

- ICFES. (2012). *Estudios sobre calidad de la educación en Colombia*. Bogotá: Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación ICFES.
- Inspection Générale de l'Education Nationale. (2011). *Activités expérimentales en physique chimie □: enjeux de formation* (N° 2011-111). Ministère Education National de la Jeunesse et de la vie associative.
- Ismaël-Youssouf, D. (1999). *Les phénomènes de choc et les principes de conservation. Débats historiques et processus d'apprentissage*. Tesis de Doctorado. Claude Bernard - Lyon 1, Lyon.
- Jameau, A. (2012). Démarches d'investigation en sciences et connaissances professionnelles des enseignants □: études de cas au collège et en cycle 3. En: *Pratiques enseignantes et démarches d'investigation en sciences*. 22-24 mayo 2012.
- Jameau, A., & Boilevin, J.-M. (2014). Les déterminants de l'action du professeur dans le cas d'un enseignement des sciences fondé sur l'investigation. Une étude de cas en physique au collège. Analyse des situations-problèmes mise en œuvre. In *Scholé* (Vol. 18 (1)). Marseille: ESPE de l'université d'Aix-Marseille. 12-14 marzo 2014.
- Jessup, M. (1998). Resolución de problemas y enseñanza de las ciencias naturales. *Revista TEA*, 41–52.
- Kavanagh, C., & Sneider, C. (2007). Learning about gravity I. Free fall: A guide for teachers and curriculum developers. *Astronomy Education Review*, 5(2), 21–52.
- Kapala, F. (2010). Investigation, épistémologie et auto-didactique. En *Actes des journées scientifiques DIES 2010*. 24-25 noviembre 2010.
- Koliopoulos, D., Boilevin, J.-M., Dossis, S., Paraskevopoulou, E., & Ravanis, K. (2013). Rapport au savoir scientifique de futurs professeurs des écoles en France et en Grèce □: le cas du pendule. *Recherches en Didactique des Sciences et des Technologies*, 8, 163–188.
- Kuhn, T. (1970). *La structure des révolutions scientifiques* (1972 (2) ed.). Paris: Flammarion.
- La main à la pâte. (2005). Introduction à la comparaison des textes officiels du collège (sciences de la vie et de la terre / classe de sixième) et de l'école élémentaire (sciences / cycle des approfondissement). In *Quel français à l'école ? : les programmes de français face à la diversité linguistique* (Vol. supplément au BI 78 de juin 2005). Disponible en: http://web.ac-toulouse.fr/automne_modules_files/pDocs/public/r641_61_bi-78_la_main_a_la_pate_1.pdf
- Lakatos, I. (1974). El papel de los experimentos cruciales en ciencia (traducción del inglés). *Studies in History and Philosophy of Science*, 4, 309 – 325.
- Laming-Emperaire, A. (1969). Préhistoire, sciences humaines et sciences de la nature. *Bulletin de la Société préhistorique française*, 66(6), 166–171. doi:10.3406/bspf.1969.10396
- Langlois, F., Gréa, J., & Viard, J. (1995). Influencia de la formulación del enunciado y del control didáctico sobre la actividad intelectual de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(2), 179–191.

- Laudan, L. (1987). *La dynamique de la science*. Bruxelles: Pierre Mardaga.
- Lederman, N. G. (1992). Students and teachers' conceptions of the nature of science: a review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, (29), 331–359.
- Lederman, N. G. (1999). Teachers' understanding of the nature of science and classroom practice: Factors that facilitate or impede the relationship. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(8), 916–929.
- Lhoste, Y. (2008). *Problématisation, activités langagières et apprentissage dans les sciences de la vie. Étude de quelques débats scientifiques dans la classe dans deux thèmes biologiques: nutrition et évolution*. Tesis de Doctorado. Université de Nantes. Disponible en <http://halshs.archives-ouvertes.fr/tel-00376892/>
- Lhoste, Y., & Peterfalvi, B. (2009). Problématisation et perspective curriculaire en SVT: l'exemple du concept de nutrition. Retrieved from <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/31130>
- Maldonado, D. (2014). Los maestros primero. *Foco Económico*. Retrieved from <http://focoeconomico.org/2014/02/25/los-maestros-primero/>
- Mason, C. L. (1992). Concept mapping: A tool to develop reflective science instruction. *Science Education*, 76(1), 51–63. doi:10.1002/sce.3730760105
- Martinez, L., de Hosson, C., & Décamp, N. (2013). El rebote de las esferas según los profesores de primaria: un acercamiento a las ideas en física y a las representaciones epistemológicas a través de una formación para la construcción de problemas científicos. *IX Congreso Internacional Sobre Investigación En Didáctica de Las Ciencias, Número especial*, 2166 – 2172.
- Martinez, L., De Hosson, C., & Décamp, N. (2012). El rebote: evaluación de una propuesta de formación para profesores de primaria para la construcción de problemas en ciencia. Presentado en: III Congreso Nacional de Investigación en educación en ciencias y tecnología EDUCYT y II Congreso Iberoamericano en Investigación en enseñanza de las ciencias, San Juan de Pasto - Colombia.
- Martinez Losada, C., Garcia Barros, S., Mondelo Alonso, M., & Vega Marcote, P. (1999). Los problemas de lápiz y papel en la formación de profesores. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación Y Experiencias Didácticas*, 17(2), 211–226.
- Mathé, S. (2010). *La "démarche d'investigation" dans les colleges français: élaboration d'un dispositif de formation et étude de l'appropriation de cette nouvelle méthode d'enseignement par les enseignants*. Tesis de Doctorado. Université Paris-Diderot-Paris VII.
- Mathé, S., Méheut, M., & de Hosson, C. (2008). Démarche d'investigation au collège: quels enjeux?. *Didaskalia*, 32, 41-76.
- MEN Colombia. (2004). *El desarrollo de la educación en el siglo XXI. Informe nacional de Colombia*. Bogotá D.C. Disponible en: <http://www.oei.es/quipu/colombia/ibecolombia.pdf>

- MEN Colombia. (1998). Lineamientos Curriculares en Ciencias Naturales y Educación Ambiental.
- MEN Colombia. (2006). Plan Nacional de Desarrollo Educativo 2006- 2016.
- MEN Francia. (2002). B.O. HS 1. Horaires et programmes de l'enseignement primaire.
- MEN Francia. (2006). *Les enseignants des écoles publiques et la formation* (Interrogation de 1200 enseignants du premier degré réalisée en septembre - octobre 2005).
- MEN Francia. (2000). Plan de rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école.
- MEN Francia. (2006). Le socle commun des connaissances et des compétences.
- MEN France. (2008a). Horaires et programmes d'enseignement de l'école primaire.
- MEN Francia. (2008b). Programmes du collège. Programmes de l'enseignement de physique-chimie collège.
- MEN Francia. (2010). Programme de Physique - Chimie en classe de seconde générale et Technologie.
- Meyer, M. (2002). Qu'est-ce qu'un problème? *Sciences et Avenir*.
- Minstrell, J. (1992). Facets of students' knowledge and relevant instruction. En *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies, Proc. of an International Workshop* (pp. 110-128)
- Minstrell, J. (2001). Facets of students' thinking: Designing to cross the gap from research to standards-based practice. *Designing for science: Implications from everyday, classroom, and professional settings*, 415-443.
- Monod-Ansaldi, R., Prieur, M., Vince, J., Fontanieu, V., Hammoud, R., Perret, J.-P., & Rossetto, A.-M. (2011). *Démarches d'investigation dans l'enseignement secondaire*: représentations des enseignants de mathématiques, SPC, SVT et technologie. ENS de Lyon - Institut Français de l'éducation.
- Novak, J. D. (1990). Concept mapping: A useful tool for science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10), 937-949. doi:10.1002/tea.3660271003
- NRC. (2001). *Knowing what students know: The science and design of educational assessment*. National Academies Press.
- Obregoso, A., Vallejo, Y., & Valbuena, E. (2010). Ciencias Naturales en Educación Básica Primaria: algunas tendencias, retos y perspectivas. *EDUCYT*, 2, 34-46.
- Ome, A. (2012). Meritocracia en la carrera docente: Evidencia para Colombia. En *Estudios sobre calidad de la educación en Colombia*. Bogotá, Col.: ICFES - Presidencia de la Republica.
- Orange, C. (2003). Débat scientifique dans la classe, problématisation et argumentation: le cas d'un débat sur la nutrition au cours moyen. *Aster, Interactions langagières. Partie 1*(37).
- Orange, C. (2005). Problème et problématisation dans l'enseignement scientifique. *Aster*, 40, 3-11.

- Orange, C. (2009). Problèmes et problématisation dans l'enseignement scientifique. En: *La problématique d'une discipline à l'autre* (pp. 53–60). Paris: ADAPT Editions.
- Orange, C., Beorchia, F., Ducrocq, P., & Orange, D. (1999). “ Réel de terrain”, “ Réel de laboratoire ” et construction de problèmes en sciences de la vie et de la Terre. *Aster*, 28 “ L'expérimental Dans La Classe”
- Orange, C., & Orange, D. (1993). Problèmes de rupture, problèmes normaux et apprentissage en biologie-géologie, *Didactique IV*, 51–69.
- Palmer, D. H. (2002). Factors contributing to attitude exchange amongst preservice elementary teachers. *Science Education*, 1(86), 122–138.
- Pélissier, L., & Venturini, P. (2012). Qu'attendre de la démarche d'investigation en matière de transmission de savoirs épistémologiques? En: B. Calmettes, *Didactique des sciences et démarches d'investigation*. (pp. 127-150)
- Perdijon, J. (2007). *La formation des idées en physique. Du phénomène à la théorie*. Paris: DUNOD.
- Piaget, J., & Garcia, R. (1983). *Psychogenèse et histoire des sciences*. Paris: Flammarion.
- Polya, G. (1945). *How to solve it*, Editorial Princenton University press, Princenton. Doubleday (2^a ed., 1957).
- Popper, K. (1963). *Conjectures and Refutations. The Growth of Scientific Knowledge*. London and New York. routledge.
- Porlán Ariza, R., García García, E., Rivero García, A., & Martín del Pozo, R. (1998). Les obstacles à la formation professionnelle des professeurs en rapport avec leurs idées sur la science, l'enseignement et l'apprentissage. *Aster*, “ *L'enseignement Scientifique vu Par Les Enseignants*.” 207-235.
- República de Colombia. Decreto 1419 (1978). Disponible en: http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-102770_archivo_pdf.pdf
- República de Colombia. Ley General de Educación (1994).
- République Française (actualización enero 2014). Code de l'éducation nationale.
- Rey, A.-L. (2004). La dynamique de Leibniz: un autre visage de la science. *Les Nouvelles d'Archimède, LNA*(36). Retrieved from <http://culture.univ-lille1.fr/fileadmin/archives/lna/36/pg/alrey.pdf>
- Robardet, G. (1998). La didactique dans la formation des professeurs de sciences physiques face aux représentations sur l'enseignement scientifique. *Aster*, “ *L'enseignement Scientifique vu Par Les Enseignants*.” 26, 31 - 58.
- Robardet, G. (2001). Quelle démarche expérimentale en classe de physique. *Bulletin de l'Union Des Physiciens*, 95(836), 1173–1190.

- Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H., & Hemmo, V. (2007). L'enseignement scientifique aujourd'hui une pédagogie renouvelée pour l'avenir de l'Europe. Commission Européenne. Disponible en: http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_fr.pdf
- Roletto, E. (1998). La science et les connaissances scientifiques: points de vue de futurs enseignants. *Aster*, "L'enseignement Scientifique vu Par Les Enseignants.", 11-30.
- Rolland, J. M. (2006). *L'enseignement des disciplines scientifiques dans le primaire et le secondaire*. Assemblée Nationale.
- Roux, S. (1996). *La philosophie mécanique (1630-1690)*. Tesis de Doctorado. EHESS, Paris.
- Saint-Sernin, B. (2002). Qu'est-ce que la science? *Sciences et Avenir*, (HS), 15–19.
- Saltiel, E., Worth, K., & Duque, M. (2009). Pollen - Villes Pépinières de Sciences. Un approche participative pour un développement durable de l'enseignement des sciences en Europe. La main à la pâte.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, (4), 4–14.
- Sigüenza, A. F., & Sáez, M. J. (1990). Análisis de la resolución de problemas como estrategia de enseñanza de la biología. *Enseñanza de Las Ciencias*, 8(3), 223–230.
- Tang, X., Coffey, J. E., Elby, A., & Levin, D. M. (2009). The scientific method and scientific inquiry: Tensions in teaching and learning. *Science Education*, 29-47. doi:10.1002/sce.20366
- Thomaz, M. F., Cruz, M. N., Martins, J. P., & Cachapuz, A. F. (1996). Concepciones de futuros profesores del primer ciclo de primaria sobre la naturaleza de la ciencia: contribuciones de la formación inicial. *Enseñanza de Las Ciencias*, 14(3), 315–322.
- Tsai, C.-C. (2002). Nested epistemologies: Science teachers' beliefs of teaching, learning and science. *International Journal of Science Education*, 24(8), 771–783. doi:10.1080/09500690110049132
- UNESCO. (1990). Declaración mundial sobre educación para todos y marco de acción para satisfacer las necesidades básicas de aprendizaje. Secretaria de Foro Consultivo Internacional sobre Educación para Todos. Disponible en http://www.unesco.org/education/nfsunesco/pdf/JOMTIE_S.PDF
- Vázquez Alonso, A., & Manassero Mas, M. A. (2000). Creencias del profesorado sobre la naturaleza de la ciencia. *Revista Interuniversitaria de Formación Del Profesorado*, (37), 187–208.
- Vázquez-Alonso, Á., Manassero-Mas, M.-A., Bennassar-Roig, A., & García-Carmona, A. (2011). Teachers Conceptions on nature of science strengths, weaknesses and influence of teaching practice. En: *Science Learning and Citizenship (Proceedings of ESERA 2011)*.
- Viard, J. (2003). Peut-on ignorer la cause du rebond? Une question historique toujours d'actualité. In C. Debru & L. Viennot, *Enquete Sur Le Concept De Causalite* (pp. 31–53). Paris: Presses Universitaires de France.

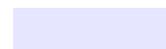
- Vilain, C. (1993). *Huygens et le mouvement relatif*. Tesis de Doctorado. Université P7.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1990). *A cross-cultural investigation of children's conceptions about the Earth, the Sun and the Moon: Greek and American data* (No. 497). Illinois: University of Illinois at Urbana-Champaign. Retrieved from <http://www.ideals.illinois.edu/handle/2142/17930>
- Vygostky, L. S. (1995). *Pensamiento y Lenguaje*. (A. Kozulin, Ed.). Barcelona: Paidós.
- Wigner, E. P. (1960). The unreasonable effectiveness of mathematics in the natural sciences. Richard Courant lecture in mathematical sciences delivered at New York University, May 11, 1959. *Communications on Pure and Applied Mathematics*, 13(1), 1–14.

Anexo 1

Convenciones de lectura de macro estructuras

Códigos gráficos

Preguntas (Qn) - Preguntas inferidas (*Qn)



Respuestas (Rn)



Objeciones (On)



Controversias o posturas contrarias



Elementos sugeridos por los resultados experimentales

→ (Flecha dentro de la casilla)

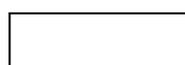
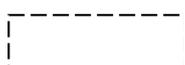
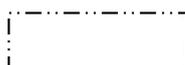
Abertura de posibles:



Cierre o limitación por oposición o contradicción



Diferenciación de bordes de casillas en función de la tipología de problemas

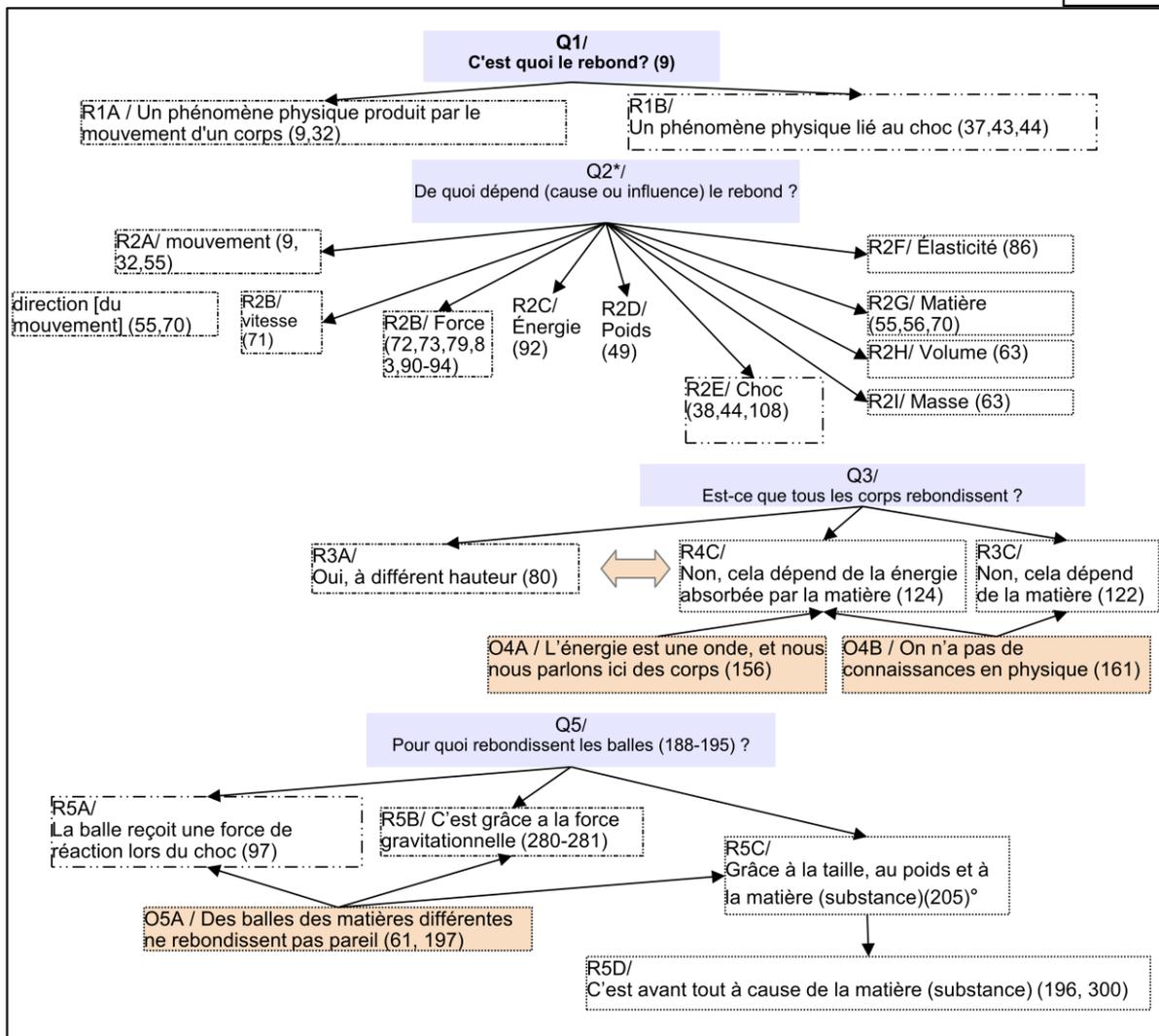


P1	Influencia de las magnitudes físicas constantes para una bola/esfera dada, propias a esta , tales que la masa (frecuentemente llamada peso por los docentes), la materia, la elasticidad, la dureza
P2	Estudio del choque (por ejemplo entre la esfera y el suelo)
P3	Influencia de magnitudes variables para una esfera dada (como la fuerza, la velocidad de lanzamiento, la altura de caída, la superficie sobre la cual rebota) o constante por una esfera dada pero no propia a la esfera (fuerza de gravitación)
P4	Elección de un atributo para caracterizar la calidad del rebotes (número de rebotes, duración, altura del rebote)
P5	Definición de una relación entre dos magnitudes físicas (velocidad de lanzamiento y numero de rebotes, masa y numero de rebotes, masa y altura del rebote, altura de caída y altura del rebote, etc.

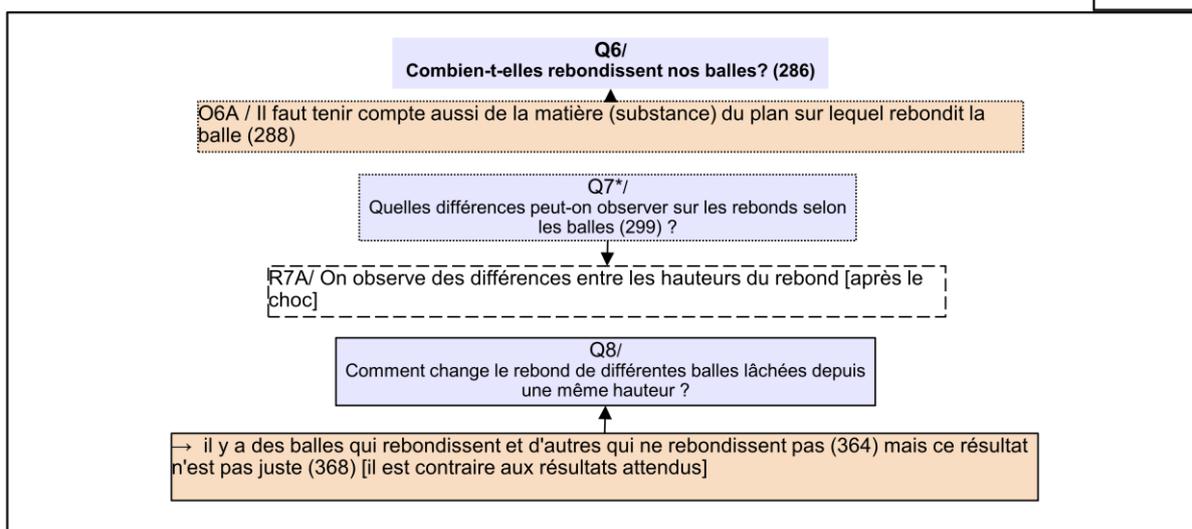
Macro-estructura grupo CG1 (Colombia)

Vous êtes des scientifiques désireux d'étudier le rebond des balles.
Que souhaiteriez-vous étudier en particulier ? (CG1)

milieu 1



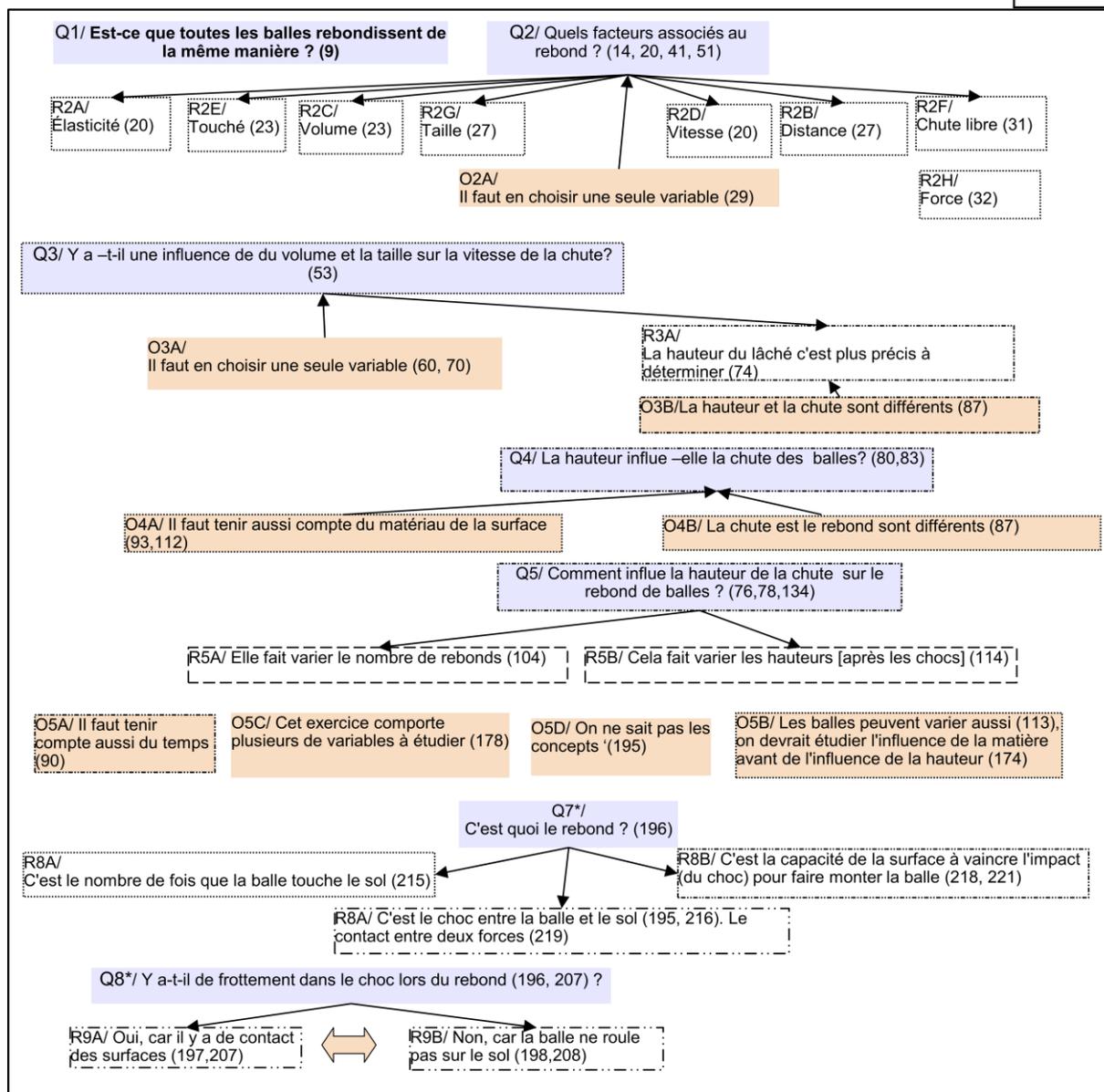
milieu 2



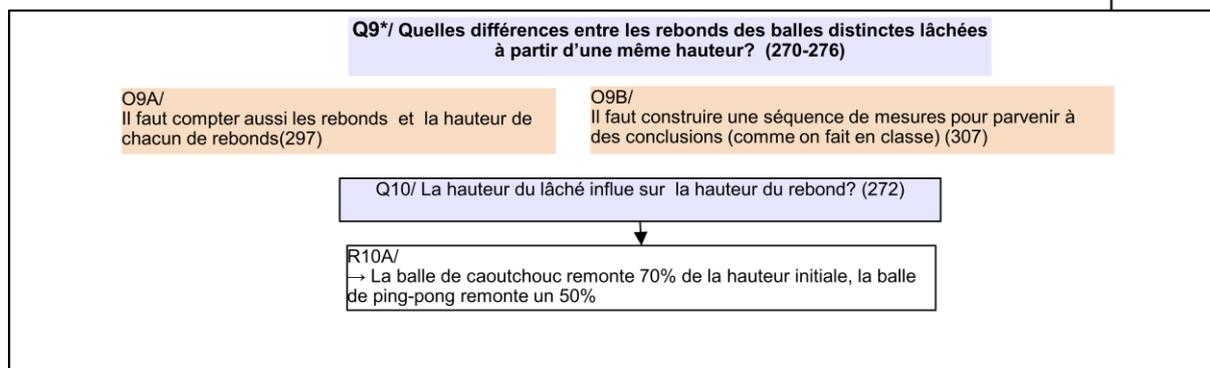
Macro-estructura grupo CG2 (Colombia)

Vous êtes des scientifiques désireux d'étudier le rebond des balles.
Que souhaiteriez-vous étudier en particulier ? (CG2)

milieu 1



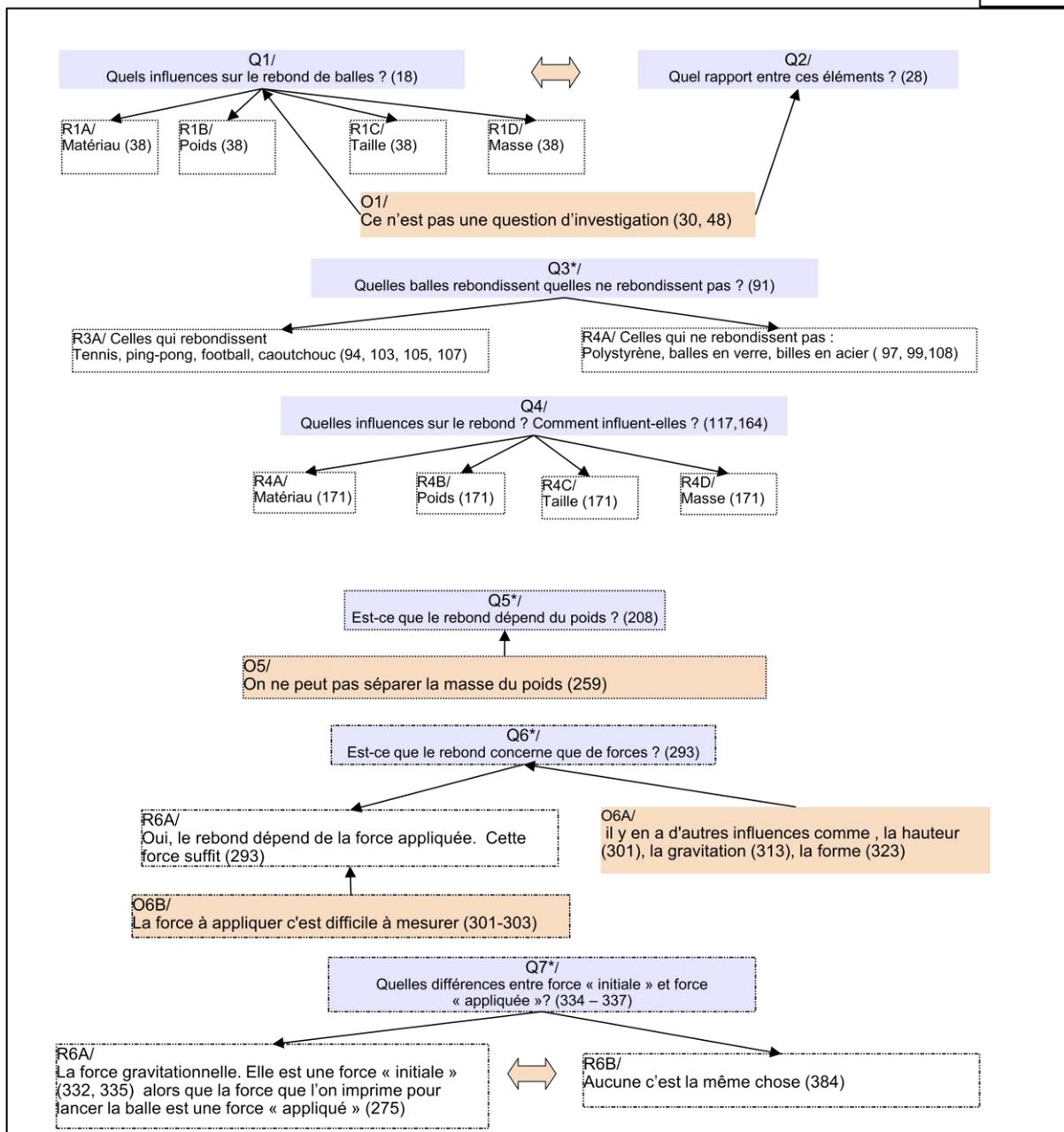
milieu 2



Macro-estructura grupo CG3 (Colombia)

Vous êtes des scientifiques désireux d'étudier le rebond des balles.
Que souhaiteriez-vous étudier en particulier ? (CG3)

milieu 1



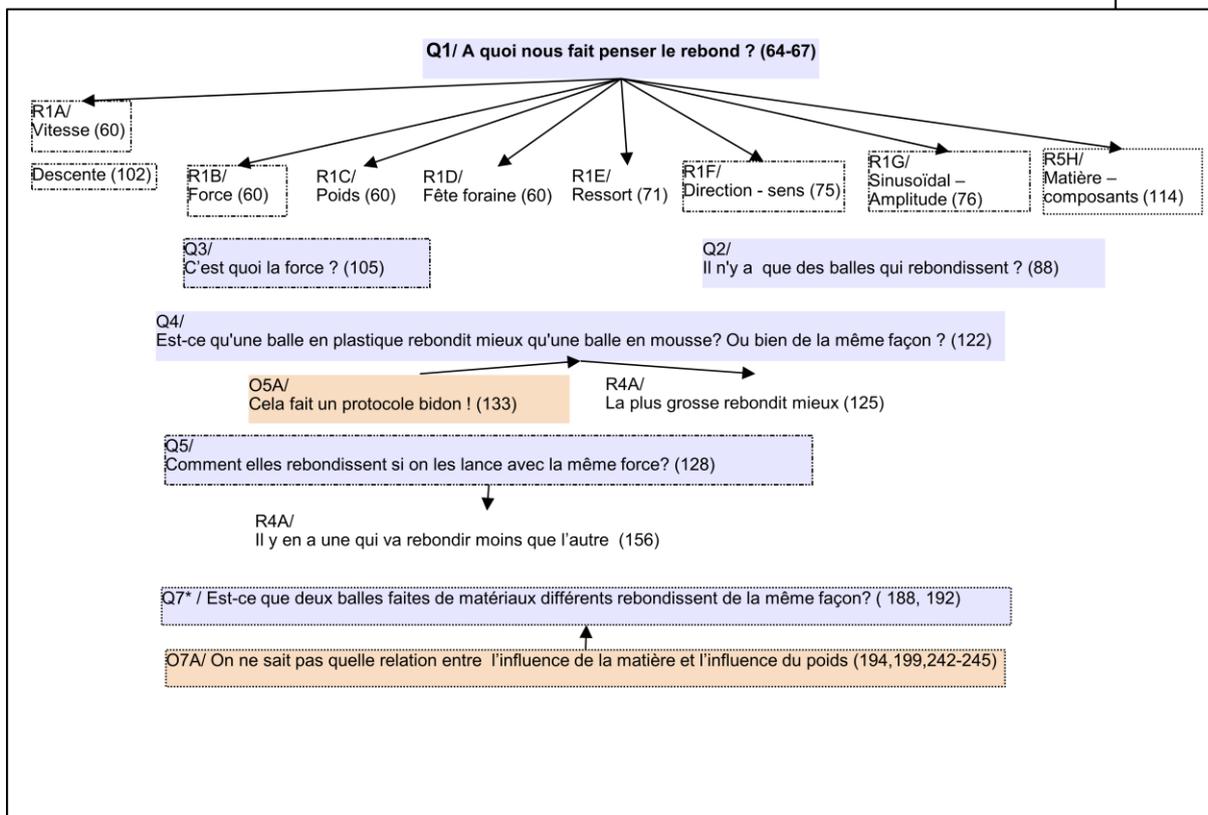
milieu 2



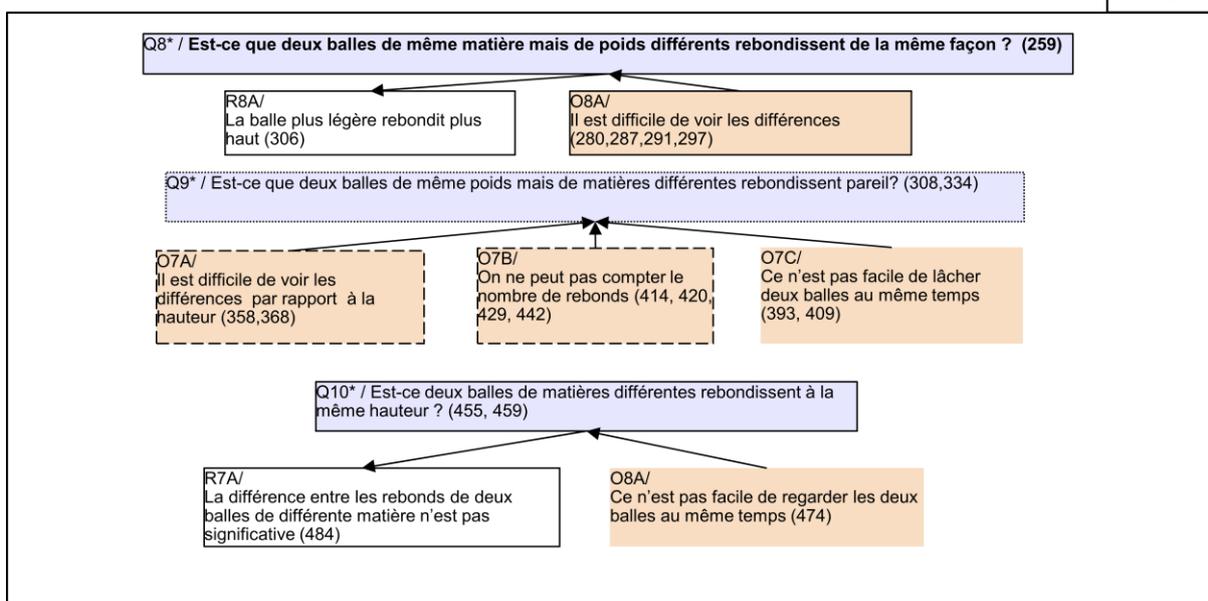
Macro- estructura grupo PG1 (Francia)

Vous êtes des scientifiques désireux d'étudier le rebond des balles .
Que souhaiteriez-vous étudier en particulier ? (PG1)

milieu 1



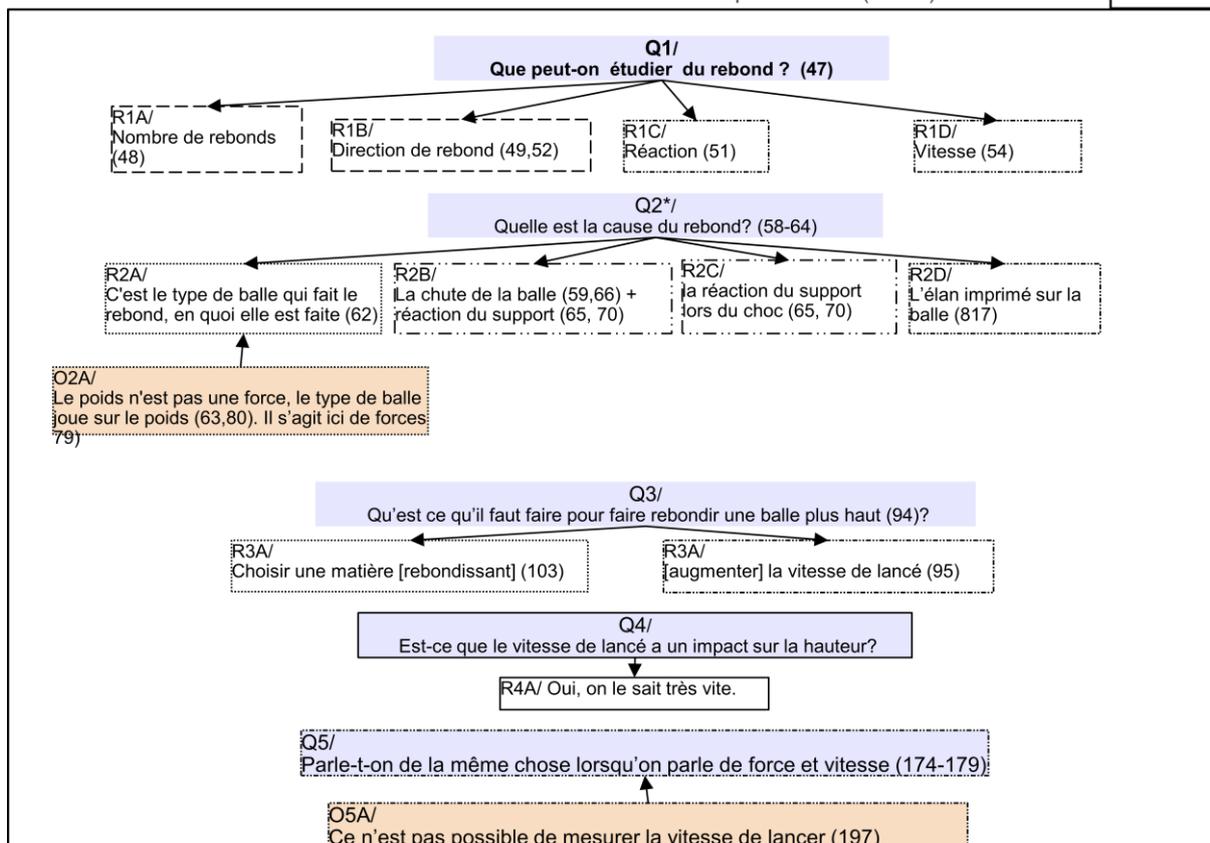
milieu 2



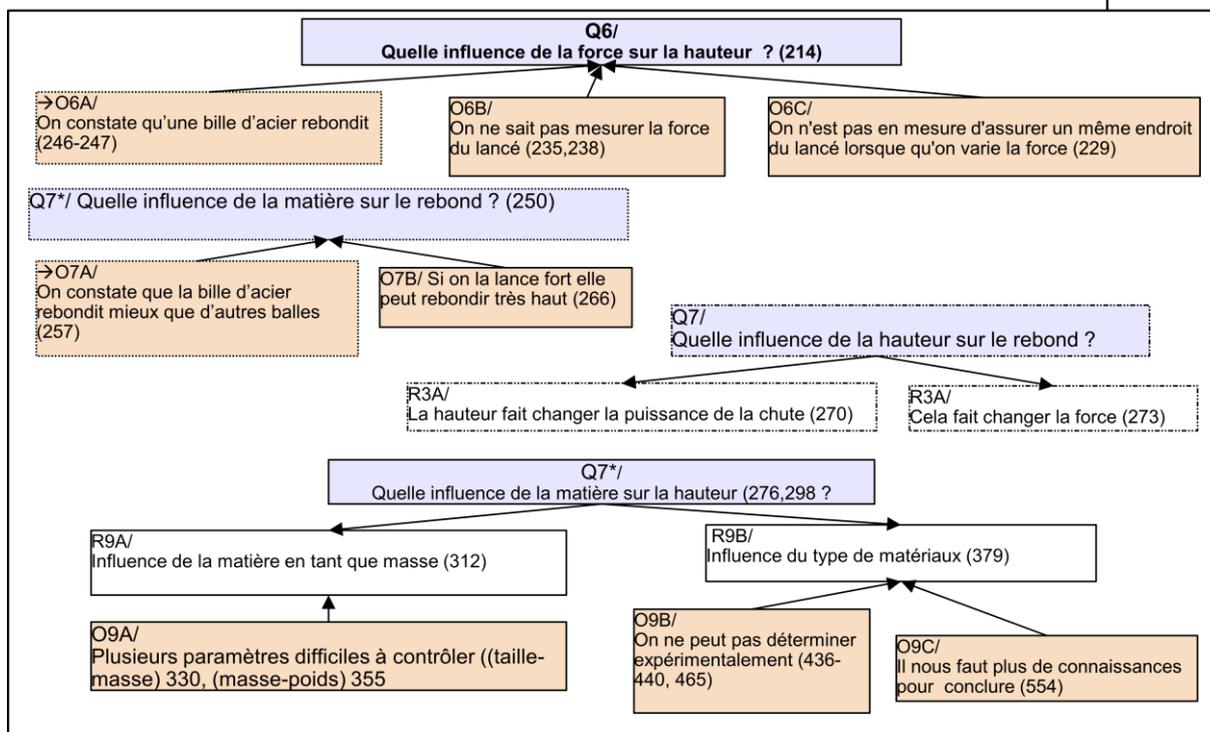
Macro-estructura grupo PG2 (Francia)

Vous êtes des scientifiques désireux d'étudier le rebond des balles.
Que souhaiteriez-vous étudier en particulier ? (P7G2)

milieu 1



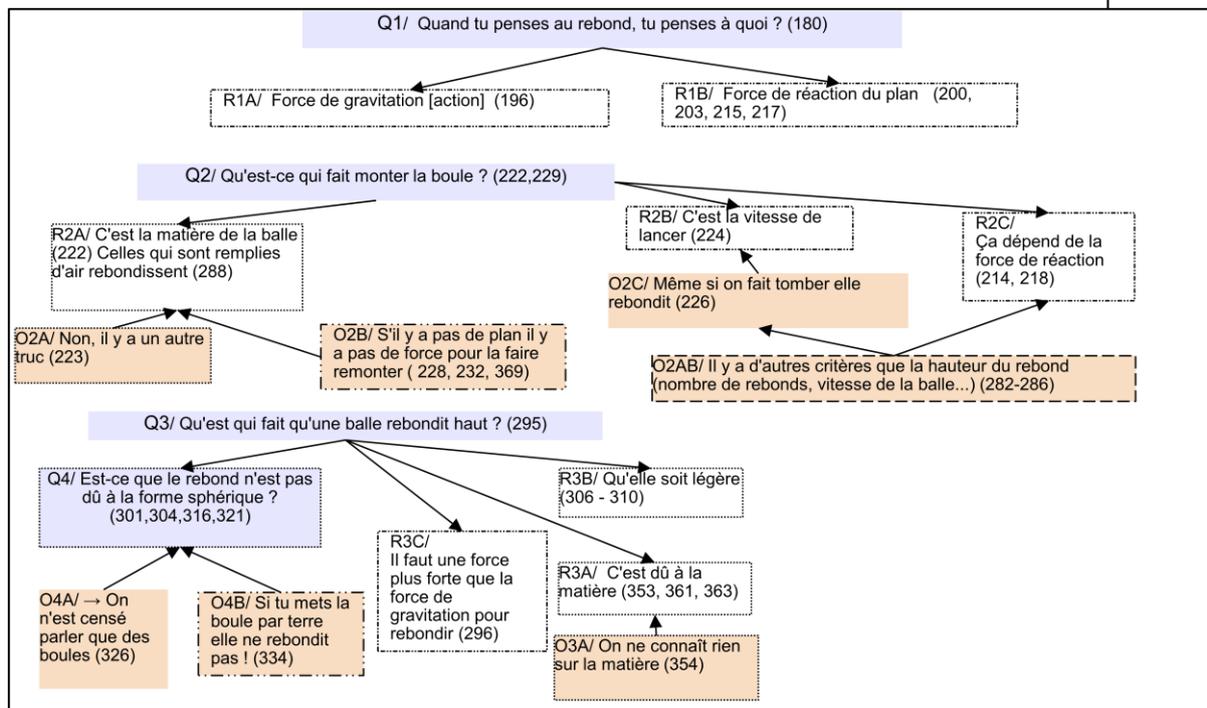
milieu 2



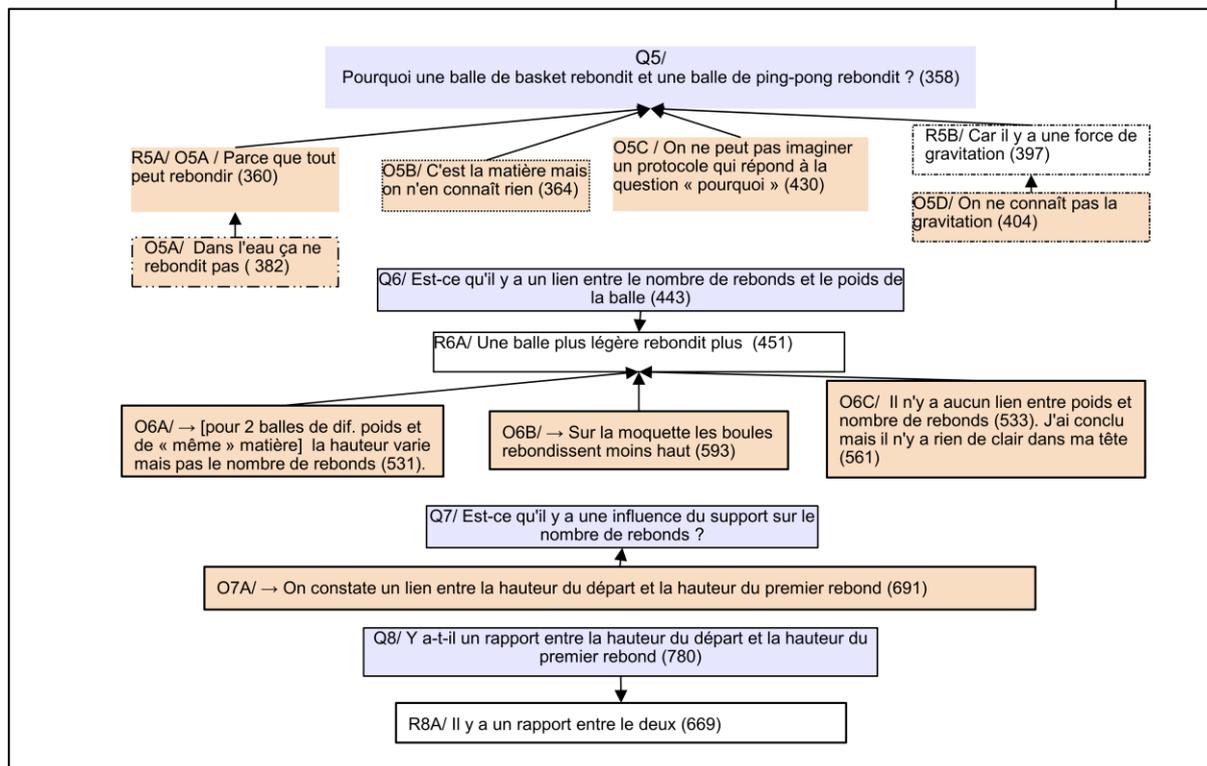
Macro-estructura grupo PG3 (Francia)

Vous êtes des scientifiques désireux d'étudier le rebond des balles.
Que souhaiteriez-vous étudier en particulier ? (PG3)

milieu 1



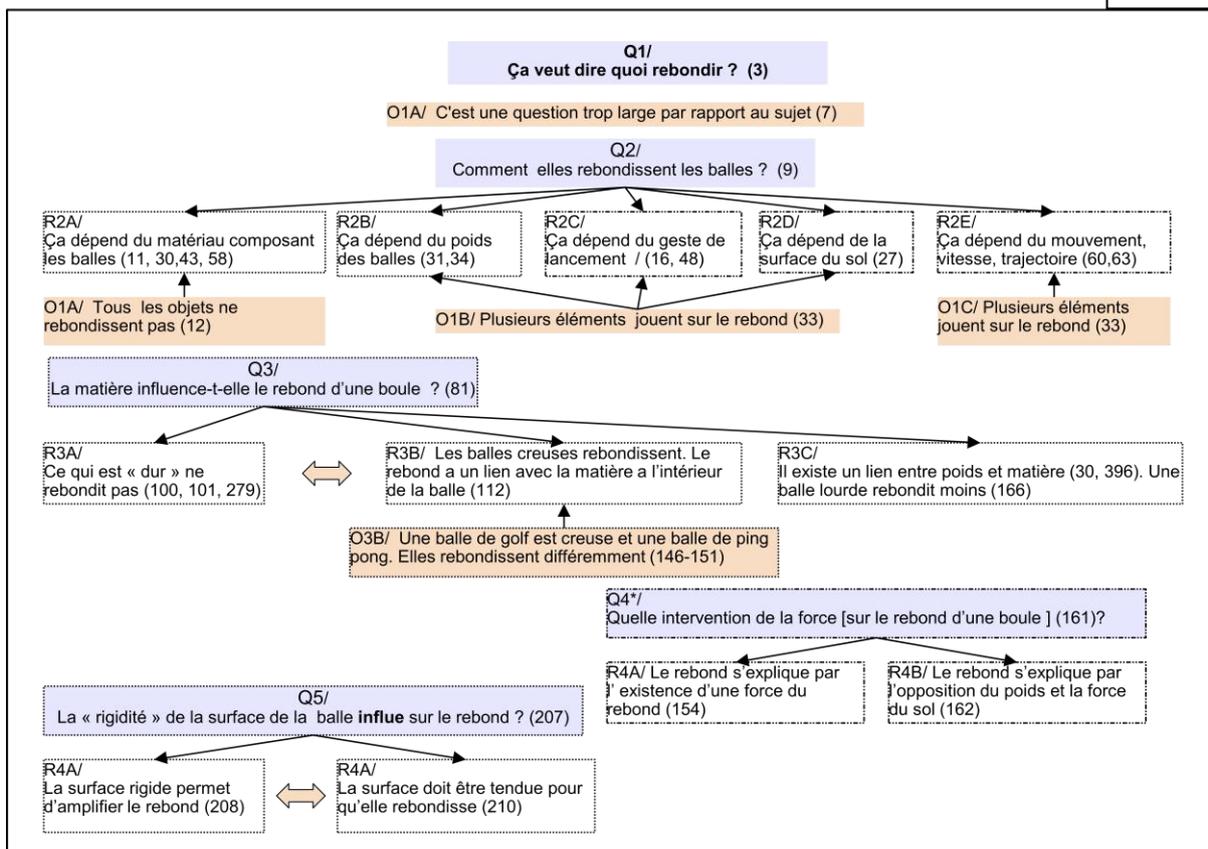
milieu 2



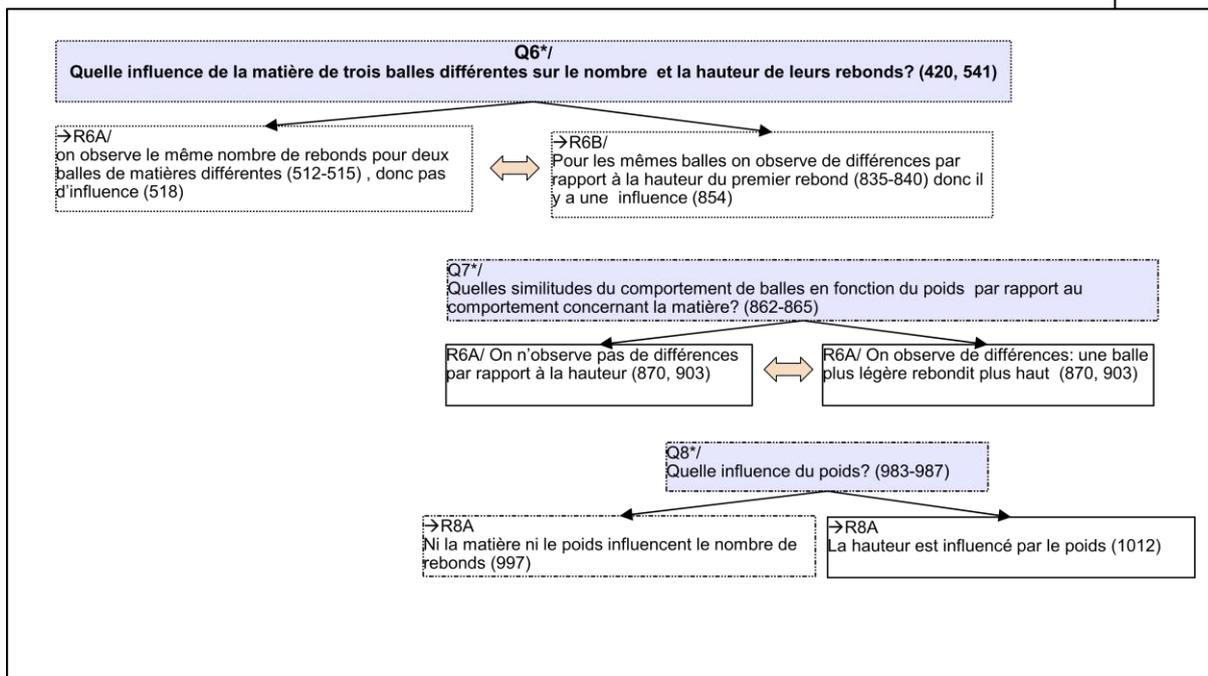
Macro-estructura grupo PG4 (Francia)

Vous êtes des scientifiques désireux d'étudier le rebond des balles.
Que souhaiteriez-vous étudier en particulier ? (PG4)

milieu 1



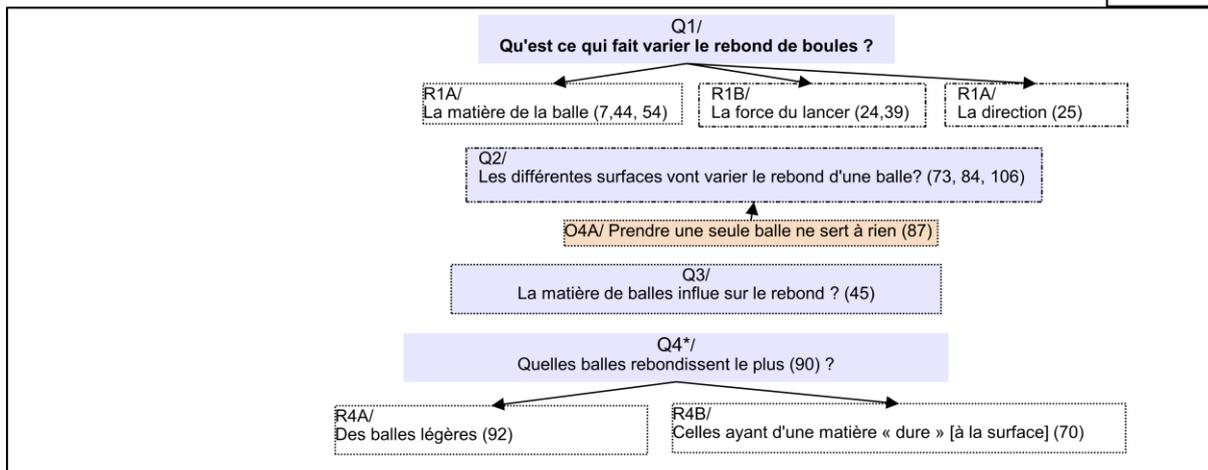
milieu 2



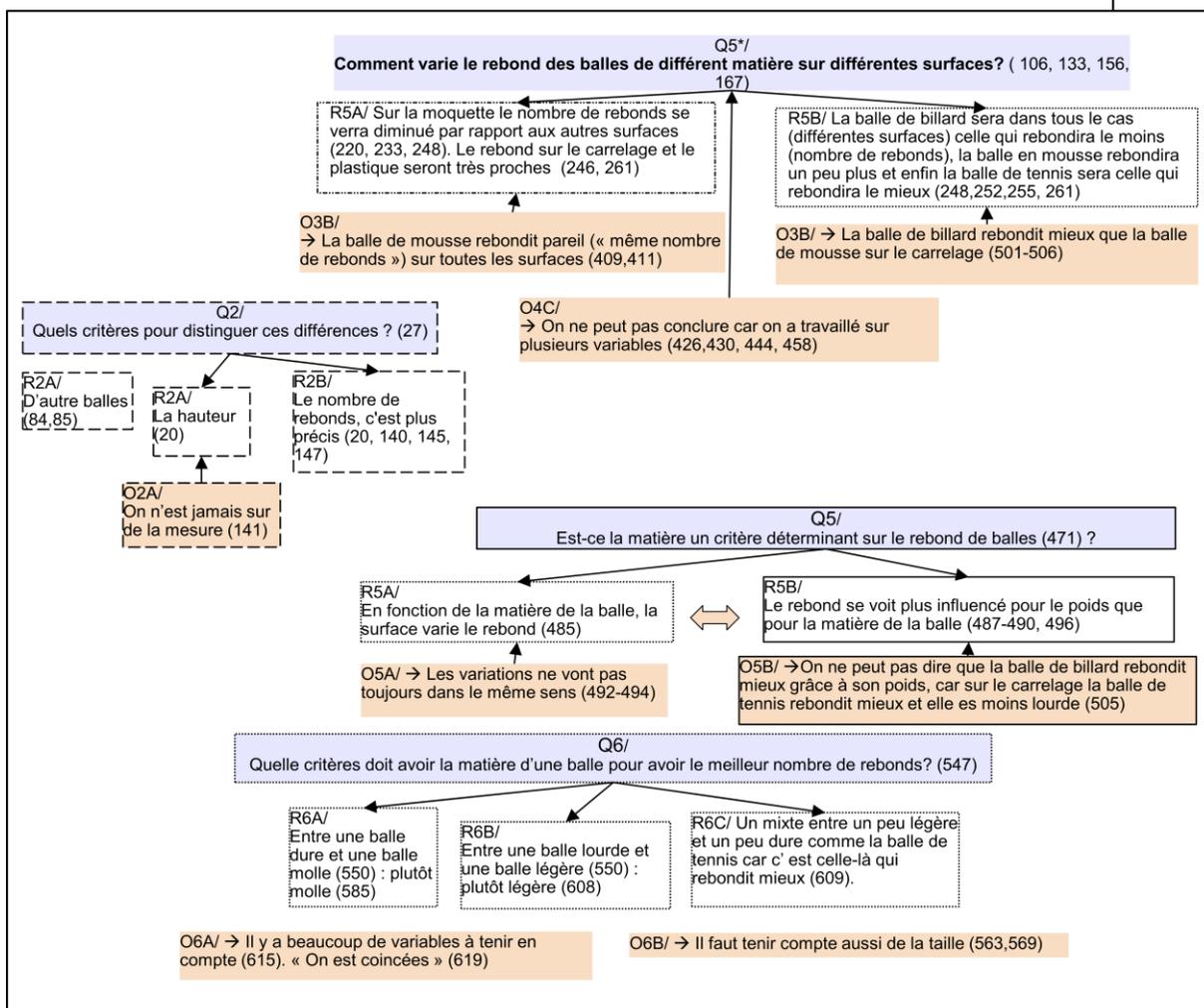
Macro-estructura grupo PG5 (Francia)

Vous êtes des scientifiques désireux d'étudier le rebond des balles.
Que souhaiteriez-vous étudier en particulier ? (PG5)

milieu 1



milieu 2



Anexo 2

Construire un problème : un premier pas vers l'investigation en sciences. Analyse d'une formation d'enseignants de primaire en contexte français et colombien (artículo aceptado en la revista internacional *Recherches en Education*)

Luz Helena Martínez Barrera, Cécile de Hosson, Nicolas Décamp⁸⁷

Résumé

L'enseignement des sciences expérimentales a subi des changements importants au plan des orientations pédagogiques prescrites. Ces changements reflètent l'évolution d'un cadre international dont l'une des caractéristiques est de mettre en avant des démarches plus ouvertes fondées sur « l'investigation ». Les programmes français et colombien, sujet de cette recherche, attendent des enseignants d'une part de concevoir des problèmes pouvant conduire à la mise en place de démarches expérimentales ouvertes et d'autre part de motiver les élèves à participer davantage aux processus de construction du savoir. Dans cette recherche on s'intéresse aux conditions qui favorisent la construction d'un problème scientifique. Nous avons conçu une action de formation continue d'enseignants du primaire sans formation initiale scientifique qui visait à favoriser ce processus de construction. Nous avons fait le choix d'une thématique non familière des curricula scientifiques de l'école primaire : le rebond des boules. Le cadre de la « problématisation », appliqué à l'analyse des interactions langagières des enseignants engagés dans l'activité de construction d'un problème, permet de comprendre les éléments qui bloquent ou favorisent l'émergence de problèmes pouvant donner naissance 1/ à de l'investigation fondée sur de l'expérimentation, 2/ à la construction de connaissances associées au phénomène de rebond (influence de paramètres physiques, construction de grandeurs caractéristiques, etc.).

L'enseignement fondé sur l'investigation⁸⁸ s'est installé en tant qu'approche pédagogique pour l'enseignement des sciences dans la plupart des pays du monde⁸⁹ (Anderson, 2007 ; Coquidé et al. 2009). L'existence d'un label choisi pour désigner une approche pédagogique pourrait laisser penser qu'il existe une définition consensuelle et « bien calibrée » de ce que cette approche recouvre (Dorier, 2012 ; Grangeat, 2013). On pourrait également s'attendre à ce qu'au label soit associé un processus standardisé, identifié et identifiable, ce qui est loin d'être le cas, l'enseignement fondé sur l'investigation semblant, au contraire, échapper à toute tentative de modélisation

⁸⁷ Laboratoire de didactique André Revuz (LDAR), EA 1547, F-75013, Univ Paris Diderot, Sorbonne Paris Cité.

⁸⁸ Les curricula scientifiques de nombreux pays des quatre coins du Monde désignent l'enseignement scientifique fondé sur l'investigation selon des dénominations variées, dénominations dont la littérature de recherche en éducation se fait témoin. Ces dénominations incluent les termes « inquiry », « indagación », « investigation » etc. Dans cet article, nous considérons ces dénominations comme l'expression d'une approche pédagogique générique.

⁸⁹ American Association for the Advancement of Science (AAAS), National Research Council (NRC), Commission Europeene - Groupe de haut niveau sur l'enseignement scientifique, entre autres

(Hayes, 2002 ; Grangeat, 2013)⁹⁰. La diversité des formes prises par l'enseignement fondé sur l'investigation semble faire écho à cette impossible gageure de définition. En effet, lorsqu'elles sont analysées par les chercheurs en éducation, les séances de classe se réclamant de l'investigation présentent une variabilité notable que ce soit dans les fiches pédagogiques disponibles sur certains sites académiques, par exemple (Mathé et al. 2008), ou dans les mises en œuvre effectives (Calmettes, 2009 ; Gyllenpalm et al, 2010 ; Boilevin, 2013).

Si donc chacun des chercheurs, enseignants, formateurs, etc., s'accorde aujourd'hui à considérer et, d'une certaine façon, à assumer, l'enseignement fondé sur l'investigation comme une approche pédagogique à facettes multiples, il n'en demeure pas moins que l'esprit général de cette approche apparaît gouverné par quelques mots, idées, principes relativement stables dans l'espace et dans le temps. Ainsi, l'enseignement par investigation promeut-il un apprentissage plutôt coopératif, reposant sur l'initiative et le questionnement de l'élève, un apprentissage soutenu par des démarches au sein desquelles l'enquête et la mise à l'épreuve expérimentale occupent une place prépondérante (Coquidé et al. 2009). Quelle que soit l'orchestration choisie, ces éléments se retrouvent généralement engagés dans un processus pédagogique se donnant pour but la résolution d'un problème. C'est le cas par exemple en France où la « démarche d'investigation », approche pédagogique de l'enseignement scientifique à l'école primaire, au collège et au lycée, fait de l'« appropriation » d'un problème scientifique le cœur de l'activité attendue des élèves (MEN 2008, 2010). De l'autre côté de l'Atlantique, en Colombie (comme dans la plupart des pays d'Amérique Latine), l'enseignement des sciences fondé sur l'investigation⁹¹ est également promu par les programmes scolaires et avec lui « l'identification » et « la résolution » de problèmes :

« La adquisición de unas metodologías basadas en el cuestionamiento científico, en el reconocimiento de las propias limitaciones, en el juicio crítico y razonado favorece la construcción de nuevas comprensiones, la identificación de problemas y la correspondiente búsqueda de alternativas de soluciones » (Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Sociales y Ciencias Naturales, MinEdu, 2004: Colombia, p. 104)⁹²

Accorder au problème et à sa résolution une place didactique et pédagogique centrale renvoie à une double posture épistémologique et cognitive qui pose la construction des connaissances scientifiques en tant qu'acte de construction et de résolution de problèmes (Bachelard, 1938 ; Dewey 1938) : « Avant tout, il faut savoir poser des problèmes. Et quoi qu'on dise, dans la vie scientifique, les problèmes ne se posent pas d'eux-mêmes. C'est précisément ce sens du problème qui donne la marque du véritable esprit scientifique. Pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir connaissance scientifique ». (Bachelard, 1938, p. 14).

⁹⁰ "Naling down inquiry-based learning is a bit like trying to define the human soul" (Hayes 2002).

⁹¹ Enseñanza de las Ciencias Basada en Indagación ECBI

⁹² "L'acquisition de méthodologies fondées sur le questionnement scientifique, sur l'identification de limites d'application, sur le jugement critique, favorise la construction de nouvelles compréhensions, l'identification de problèmes et la recherche de solutions possibles" (notre traduction).

Pourtant, alors que l'émergence du savoir scientifique apparaît procéder de ce double travail de construction et de résolution de problème, l'enseignement scientifique fondé sur l'investigation semble, lui, privilégier l'étape de résolution : « *La démarche qui consiste à problématiser un objet de savoir pour l'enseigner est, dans la majorité des cas, étrangère à la pratique enseignante ; et ce ne sont pas les « activités », même affublées du qualificatif de « situations – problèmes », qui peuvent aller à l'encontre de cet état de fait* ». (Matheron, 2010, p.13). En France, les programmes scolaires valorisent explicitement les étapes d'appropriation et de résolution d'un problème ; l'étape de construction n'apparaît pas particulièrement mise en avant. Engager les élèves dans des activités de construction d'un problème scientifique, au-delà de la seule activité de résolution, se présente comme un enjeu fort d'un enseignement des sciences soucieux de préserver, au sein de la classe, une certaine authenticité de la nature de l'activité scientifique. Cependant, la mise en place effective d'une pratique pédagogique alliant construction et résolution de problème reste dépendante des ressources disponibles et, par-delà des ressources, de la formation des enseignants.

La recherche que nous présentons ici se donne pour finalité d'alimenter de telles formations : elle doit permettre, à terme, de fournir à des enseignants confrontés à une modalité d'enseignement type « *inquiry* » ou « *investigation* » des points d'appui de nature méthodologique et épistémologique afin qu'ils approchent l'activité scientifique en tant qu'activités de construction et de résolution de problème avec leurs élèves. Il s'agit, par exemple, de leur faire prendre conscience qu'il existe, pour un même phénomène, pour une même situation, des problèmes différents par nature (Beorchia, 2005) ; ou encore, de les sensibiliser au fait que tous les problèmes, énoncés à partir d'une situation donnée, ne conduisent pas nécessairement à la construction d'une connaissance scientifique par l'intermédiaire d'expériences. Cet article rend compte des premiers résultats de cette recherche. Est étudiée ici la façon dont des enseignants de primaire, sans formation scientifique universitaire, conduisent une activité de « *problématisation* » dans ses étapes de construction et de résolution (Fabre et Orange, 1997 ; Fabre, 2009) : « *Il n'y a pas problématisation si ne sont pas instaurés un auto-contrôle de la pensée, une dialectique entre données et conditions du problème. Ce qui nécessite de concevoir une logique de la recherche, centrée sur la construction du problème et pas seulement sur sa résolution* » (Fabre, 2009).

Nous allons donc placer les enseignants en situation de construction d'un problème. Pour cela, nous avons choisi d'investir une situation certes familière mais qui n'est traditionnellement pas étudiée dans les cursus scolaires : le rebond des balles.

1. Le rebond des balles, un phénomène problématisable : problématique et questions de recherche

Le phénomène du rebond a déjà été exploité dans le contexte de la recherche en didactique des sciences. Dans une étude conduite auprès d'élèves de fin de cycle secondaire (lycée), Langlois et ses collaborateurs (1995) ont montré qu'il s'agit d'un phénomène qui se laisse approcher diversement selon le degré d'ouverture de la consigne que l'on présente aux élèves. Plus spécifiquement, ils ont examiné la résolution des problèmes par les élèves

pour deux énoncés différents (portant sur le même phénomène) : Le premier orientait explicitement l'étude du rebond vers l'étude des propriétés des balles et engageait les élèves vers une analyse énergétique du choc ; le second, plus ouvert, invitait les élèves à étudier la « capacité d'une balle à rebondir » en examinant le premier rebond pour ensuite prédire le comportement d'autres balles de matériaux différents.

Dans le prolongement de ce travail, nous avons choisi d'investir le domaine de la construction des problèmes du côté enseignant, en poussant davantage encore l'ouverture de l'énoncé pour lui donner la forme suivante : « vous êtes des scientifiques désireux d'étudier le rebond des boules, que souhaiteriez-vous étudier en particulier ? ». Contrairement aux énoncés précédents, celui-ci ne précise ni le traitement physique à appliquer (énergétique, par exemple), ni les observables (propriétés des matériaux, variables, etc.). Le phénomène du rebond devient ainsi une situation « indéterminée » au sens de Dewey (1938) mais sujette à enquête dont la nature est scientifique, dont on espère qu'elle va devenir, sous l'activité des enseignants, « déterminée » et « problématique », une situation dont on espère également qu'elle donnera naissance à de la connaissance scientifique.

La posture que nous choisissons d'adopter emprunte au processus d'« enquête » tel que porté par Dewey (1938) : « *L'enquête est la transformation contrôlée ou dirigée d'une situation indéterminée en une situation qui est déterminée en ses distinctions et relations constitutives qu'elle convertit les éléments de la situation originelle en un tout unifié* » (Dewey, 1938, p. 169). Lorsque Dewey parle de situation il l'envisage comme une rencontre entre un organisme (ici, les enseignants en formation) et son milieu. Selon lui, il y a problème lorsqu'un déséquilibre se fait jour dans la situation et que l'organisme ne peut y remédier immédiatement. En fait, la situation est indéterminée tant que le sujet la subit, elle devient problématique dès qu'il entreprend de la redresser, de la réorganiser (Fabre, 2009), dès qu'elle prend sens. Ce processus peut s'entendre comme une évolution progressive au cours de laquelle des problèmes différents émergent et se succèdent.

La recherche que nous présentons se donne pour but de caractériser l'activité de problématisation engagée par des enseignants à partir d'un énoncé ouvert portant sur un phénomène familier et non scolaire. Dans sa dimension prospective, cette recherche vise à nourrir l'élaboration d'un module de formation robuste, qui puisse être une réponse aux recommandations institutionnelles à l'échelle internationale. La mise en évidence de régularités au sein des deux populations d'enseignants permettra de traiter l'ensemble des groupes d'enseignants, français et colombiens, de manière indifférenciée. A l'inverse, la mise en évidence d'écarts, de différences, nous conduira à formuler une nouvelle problématique engageant d'une part, la recherche de causes possibles et d'autre part, l'identification des adaptations nécessaires⁹³. Plus particulièrement, il s'agit de savoir :

⁹³ Dans sa quête d'identification de conceptions, la recherche en didactique des sciences a souvent reposé sur la recherche de régularités engageant des études (inter)transculturelles (Fawaz & Viennot, 1986, Caldas & Saltiel, 1995, Vosniadou & Brewer, 1990 et Goh, 1993). Ici, nous recherchons des régularités (et des écarts) dans les processus mis en œuvre par des enseignants français et colombiens pour construire des problèmes à partir d'une même situation ouverte

Quels sont les éléments moteurs de l'activité d'enseignants engagés dans la construction de problèmes ? Comment les enseignants lèvent-ils l'indétermination d'une situation ouverte pour en faire une situation problématique ?

2. Méthodologie de recherche

L'activité de problématisation : un cadre pour l'installation et l'étude d'interactions conduisant à la construction d'un problème

Nous adoptons le cadre théorique de l'activité de problématisation tel que défini par l'équipe du CREN, en particulier à la suite des travaux d'Orange en Sciences de la Vie et de la Terre (Orange, 2003 ; Lhoste, 2008 ; Crépin-Obert, 2010) afin d'analyser les éléments, tels qu'interactions entre pairs, confrontations expérimentales, etc., qui permettent la construction d'un problème associé au phénomène du rebond. Cette théorie d'inspiration bachelardienne considère la construction du savoir scientifique comme le produit d'un ensemble d'énoncés considérés comme nécessaires par les acteurs de la construction du savoir. Pour que ces énoncés soient reconnus comme des « nécessités » dans le cadre de l'activité de problématisation, il faut qu'ils articulent à la fois des énoncés portant sur des faits empiriques, constatés expérimentalement ou convoqués artificiellement par la pensée (registre empirique) et des énoncés de nature théorique (registre théorique ou des modèles). L'activité de problématisation renvoie à l'ensemble des processus à l'œuvre dans la construction de ces nécessités et plus généralement, à l'ensemble des processus à l'œuvre dans la construction d'énoncés divers et provisoires (des éléments de solution possibles) : « *Connaître c'est moins buter contre un réel que valider un possible en le rendant nécessaire. Dès lors, la genèse du possible importe autant que la démonstration du nécessaire* ». (Canguilhem, 1965, p 58).

Au cours de ce processus, un tri partiel est opéré entre ces possibles à l'occasion de moments d'objection qui peuvent prendre la forme d'échanges contradictoires, d'échecs expérimentaux, de difficultés de natures diverses, etc. Ces moments d'objection jouent un rôle de pivot dans la dynamique de problématisation, l'enquête pouvant soit cesser (certaines objections peuvent ne donner lieu à aucune évolution), soit se poursuivre. Dans ce dernier cas, la dynamique de problématisation peut 1. déboucher sur une nouvelle question qui va venir enrichir l'éventail de possibles. 2. voir le nombre des possibles réduit aux seules options susceptibles de résoudre le problème ; les nécessités permettant d'effectuer un choix parmi les solutions *a priori* possibles. D'une façon générale, l'analyse des interactions, conduite dans le cadre de la problématisation, consiste en l'examen des confrontations entre des éléments de solution possibles et leurs objections. Sont recherchées ici les objections (ou groupe d'objections) qui favorisent la création de nécessités liées au phénomène du rebond lors d'interactions entre des enseignants en formation continue.

Présentation de la session de formation

Notre formation (d'une durée de deux heures) peut s'entendre comme une « situation didactique » au sens de Brousseau (1987), c'est-à-dire comme la mise en relation de quatre éléments : le milieu, les enseignants formés, les connaissances associées au rebond et le formateur. En effet, nous nous attendons à ce que les problèmes et les connaissances associées soient construits par la logique de la situation suite à un processus d'interactions entre ces éléments, chacun d'eux ayant une part plus ou moins importante dans l'établissement d'un contrat didactique. Ces éléments se définissent comme suit :

Le milieu

Il change au cours de la formation. Dans une première étape (milieu 1), le rapport entre milieu et enseignant trouve son origine dans la présentation d'un énoncé ouvert : « vous êtes des scientifiques désireux d'étudier le rebond des balles, que souhaiteriez-vous étudier en particulier ? ». Les enseignants sont placés en situation de travail collectif par petits groupes ($4 \leq N \leq 6$). Ils sont d'abord invités à réfléchir à tout ce qui peut être associé au rebond de balles à travers l'élaboration d'une carte conceptuelle (Novack, 1990 ; Mason, 1992). Cette carte doit permettre la formulation de problèmes susceptibles d'être résolus expérimentalement (à ce stade les possibles ne sont pas contraints par le matériel disponible qui reste inconnu des enseignants). Les objections attendues ici doivent trouver leur origine dans les interactions sociales (Lhoste, 2008). Dans une seconde étape, nous procédons à la mise en contact des enseignants avec le matériel disponible (milieu 2) : balles de masse, de taille, d'élasticité différentes, instruments de mesure (balances électroniques, mètres-rubans, chronomètres, matériel d'enregistrement vidéo). Nous leur demandons de choisir un problème parmi les problèmes énoncés au sein du milieu 1, et de le résoudre au moyen du matériel qu'ils jugent approprié. Le milieu 2 que nous avons créé vise à orienter les enseignants formés vers :

1. la création de situations potentiellement contre-intuitives (ou a minima inattendues) favorisée par les balles disponibles : des balles plastiques qui ne rebondissent pas ou qui rebondissent très peu, des billes métalliques qui rebondissent mieux que des balles plastiques, des balles de formes et de masses identiques qui ne rebondissent pas de la même façon, etc. Nous attendons de ces situations qu'elles permettent l'expression de nouvelles objections (en plus des objections issues des échanges entre pairs).
2. un choix des grandeurs physiques à traiter : le matériel a été choisi de façon à entraîner les enseignants dans des procédures de mesure de grandeurs physiques simples telles que la masse, la hauteur de rebond, le nombre de rebonds, etc. Ce matériel ne permet pas de mesurer des grandeurs telles que l'élasticité des balles et d'autres mesures telles que les vitesses (initiale, avant/après un rebond) sont moins évidents. Par défaut, cela constitue une contrainte forte.

Les enseignants (en tant que formés)

Il s'agit d'enseignants de primaire en formation continue issus de deux contextes culturels différents (la France et la Colombie) mais tous encouragés à pratiquer un enseignement des sciences fondé sur l'investigation⁹⁴. Aucun des enseignants formés n'a étudié la physique en premier cycle universitaire. Nous supposons toutefois qu'ils connaissent les grandeurs simples de la mécanique (masse, vitesse, longueur, etc.) et qu'ils ne possèdent pas de connaissances scientifiques particulières sur le rebond puisqu'il s'agit d'un thème extérieur aux programmes scolaires français et colombiens. Puisqu'ils sont soumis à une consigne ouverte, ils doivent tendre vers des accords collectifs sur le problème à résoudre (milieu 1), le choix du matériel disponible, sur les mesures expérimentales à réaliser, sur les procédures à suivre, sur l'analyse du phénomène, etc. (milieu 2). Ils décident de la forme que prend leur démarche et du moment où elle s'arrête.

Les connaissances

Le phénomène du rebond peut se laisser approcher de diverses manières selon que l'on s'intéresse à l'objet lui-même ou à son mouvement ; selon que l'on s'intéresse aux causes du rebond ou aux grandeurs qui se conservent ou qui changent au cours du rebond. Lorsque le rebond est étudié dans un enseignement de mécanique, le phénomène est souvent étudié du point de vue de l'énergie. Un rebond consécutif à un choc élastique tend à ramener la boule à sa hauteur de lâché initial ; dans ce cas l'énergie (mécanique) de la balle au moment du lâché est conservée (au cours du mouvement). Il n'existe pas de balles parfaitement élastiques (c'est-à-dire rebondissant à une hauteur exactement identique à celle du lâché). En général, une balle lâchée sans vitesse initiale rebondit à une hauteur inférieure à celle du lâché car une partie de l'énergie mécanique de la balle se transforme au moment du choc (elle peut, par exemple, être dissipée sous la forme de chaleur ou varier à cause de déformations irréversibles) ; cette diminution de hauteur suit une progression régulière (géométrique) tout au long des rebonds successifs d'une balle. Lorsqu'une balle rebondit, le rapport de deux hauteurs successives est constant et égal au carré d'une grandeur que l'on appelle le « coefficient de restitution »⁹⁵. Si l'on se focalise sur l'objet « balle », le coefficient de restitution rend compte de l'élasticité de la balle (ie : sa capacité à reprendre sa forme initiale). Une balle qui rebondit « bien » est une balle très élastique : elle reprend très bien sa forme initiale. Mener une étude sur le rebond peut conduire à étudier le comportement de la balle au cours du choc (changement de température, changement de forme), à examiner l'influence des conditions initiales de lâché (hauteur, vitesse, température extérieure, etc.), l'influence des propriétés de la balle (masse, élasticité) sur la qualité du rebond (ce qui nécessite de se donner des critères empiriques permettant de définir un « bon » rebond), à regarder l'évolution de la vitesse de la balle, des hauteurs successives, tout au long du mouvement, etc.

⁹⁴ Cette recherche s'inscrit au sein d'une collaboration franco-colombienne entre les universités Paris Diderot (Paris, France) et Los Andes (Bogotá, Colombie) ayant pour objet le développement de ressources pour la formation des enseignants de primaire en sciences physiques.

⁹⁵ Le coefficient de restitution est égal au rapport de la vitesse juste après le choc sur la vitesse juste avant le choc. En cas de choc élastique le coefficient de restitution est égal à 1 ; en cas de choc totalement inélastique, il est égal à 0.

La situation proposée et la question posée étant extrêmement ouverte, notre but n'est pas ici d'amener les enseignants à une seule réponse ou bien de valider leurs réponses. Nous ciblons l'exploration des connaissances dans leur état initial en tant que « constats » et les connaissances éventuellement acquises comme conséquences des différents problèmes construits.

Le formateur

L'intervention du formateur (identique pour les groupes français et colombiens) cible un accompagnement des processus, différenciés par les intérêts des groupes, cela, en partant d'une consigne commune (l'énoncé de départ) et en veillant à ce qu'un (seul) problème soit choisi et traité expérimentalement. Le formateur doit être préparé à suivre les déclinaisons des problèmes proposés au sein de chacun des groupes. Il s'abstient de tout jugement sur le choix du thème ou du matériel, ainsi que sur les explications égrenées au fil des échanges. En revanche, il peut poser des questions sur des procédures, sur des résultats, sur l'avis des participants des groupes, etc. Il assure une petite phase de restitution en fin de formation, en fonction des thèmes traités par l'ensemble de groupes.

Méthodologie de recueil et d'analyse des données

Les interactions verbales entre enseignants de chaque groupe de travail (huit au total) ont été enregistrées sous un format audio, puis intégralement retranscrites. Pour analyser ce corpus nous avons eu recours aux outils de l'analyse de contenu tels que définis par Bardin (1977/1991). Nous avons cherché à identifier les éléments suivants : des questions posées, des réponses, des procédures suivies, des objections. Ces éléments, différents par nature, ont constitué les unités de signification que nous avons retenues pour fractionner le discours des enseignants lors des interactions au sein de groupes. Conformément au cadre de la problématisation, nous cherchons dans un premier temps à caractériser la dynamique générale des interactions au sein desquelles les problèmes émergent, l'outil « macrostructure » est utilisé pour rendre compte de cette dynamique. Cette caractérisation nous sert d'appui pour le repérage et l'analyse des nécessités élaborées par les enseignants, l'outil « espaces de contraintes » est alors mobilisé.

Les macrostructures

Une fois repérés, les éléments signifiants du discours des enseignants ont été réorganisés de façon à former des « macrostructures » (Fabre et Orange, 1997), c'est-à-dire, des reconstructions du discours incluant les éléments issus de l'analyse de contenu (questions, réponses, objections explicitement déclarées par les enseignants au cours des interactions de groupe). Ce schéma représente l'évolution des possibles au cours du temps, il tend à caractériser la façon dont les situations se « déterminent » progressivement. Cette reconstruction du discours reprend la modélisation symbolique de Crépin-Obert, (2010) : Questions Qn (□), Réponses Rn ou Necessités Nn (□), Objections On (□)

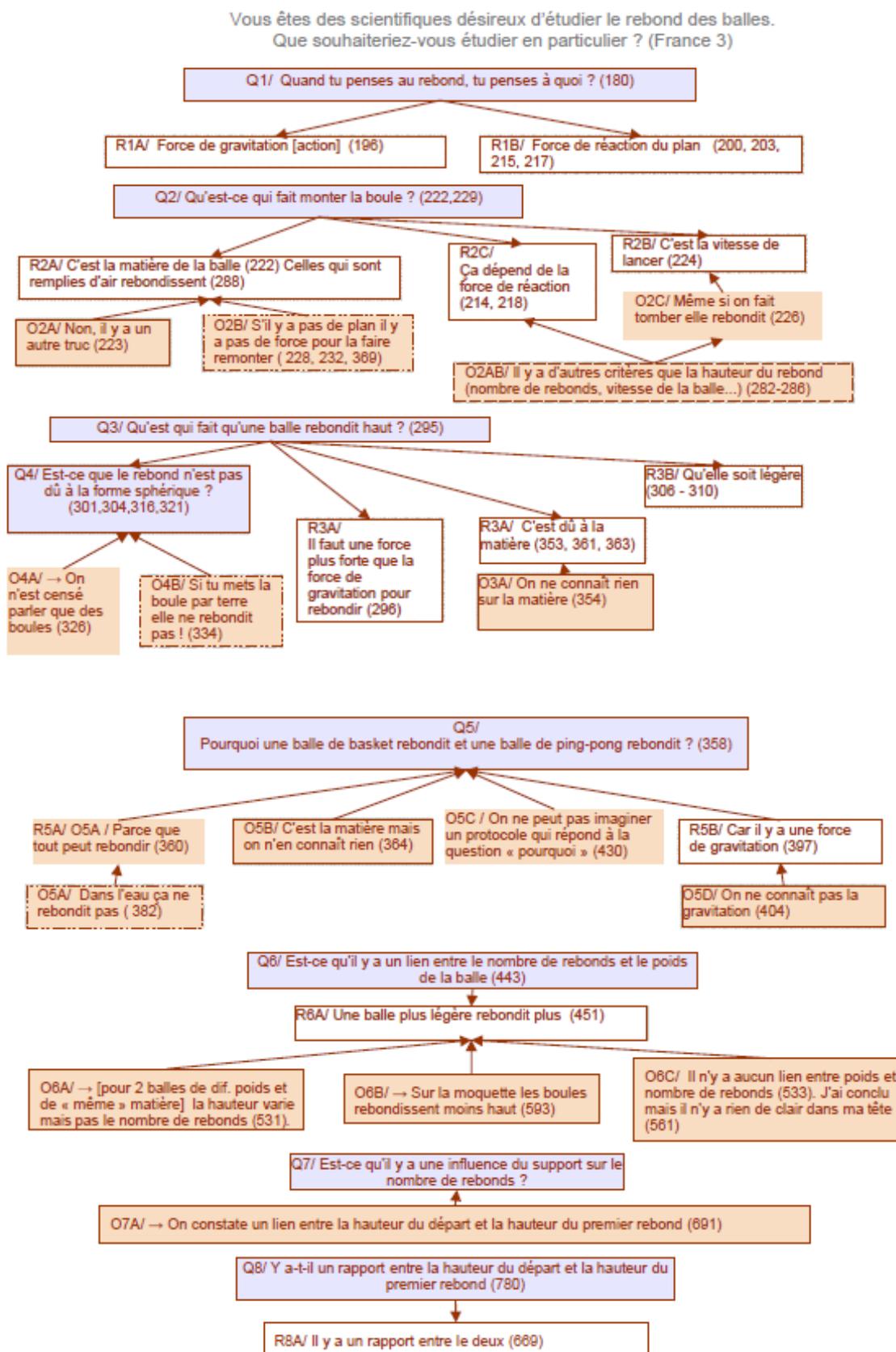


Schéma 1 - Macrostructure illustrant la démarche du groupe d'enseignants français « France 3 »

Toutes les unités de signification retenues pour construire les macrostructures et portant sur un même thème sont identifiées par un même code symbolique : la bordure de cases. Le schéma 1 correspond à cette reconstruction, il représente les échanges de l'un des groupes d'enseignants français (France 3). D'un point de vue méthodologique l'extrait de verbatim suivant illustre la façon dont nous avons construit une partie la macrostructure du schéma 1 à partir des unités de signification associées (Qn, Rn, On) :

222 : *Qu'est-ce qui la fait remonter ? [Q2] Comme ça [posée]... elle ne va jamais rebondir*

223 : *Non, il y a un autre truc [O2A]*

224 : *Et c'est la vitesse aussi ! La vitesse de lancer [R2B], d'accord parce que tu lances à une certaine vitesse...*

226 : *Oui, même si tu la fais tomber, elle rebondit [O2C] / un peu moins fort... mais*

228 : *S'il n'y a pas de plan, il n'y a rien pour la faire remonter [O2B] [...]*

243 : *Tu as mis le doigt sur un truc // Il y a une différence entre si je lance avec une certaine / si j'imprime une certaine vitesse à ma main et si je la laisse seulement [inaudible] [R2B]*

244 : *Oui, mais on est d'accord, on peut étudier ça, tu comprends ?*

245 : *La dépendance de la vitesse*

253 : *Je pense qu'on doit faire le lien entre hauteur du rebond, en gros, et vitesse [R2B], quel est le lien ? [...]*

282 : *Il faudrait poser la question de quel est le rapport entre la force de lancement et la hauteur du rebond ou le nombre de rebonds ou quelque chose comme ça. Il y a le nombre de rebonds, il y a la vitesse du rebond...*

286 : *Oui, il y a plein de choses là... [O2AB] [...]*

295 : *Il faut poser une question, là / qu'est-ce qui fait qu'une balle rebondit haut [Q3] ? Qu'il y a une force plus forte que la force de gravitation [R3A].*

306 : *C'est aussi parce qu'elle est légère, tu la jettes sur un plan et elle ne va pas rebondir [R3B]*

337 : *C'est la matière [R3A]*

338 : *Le poids, le poids [...] [R3B]*

354 : *La matière c'est sûr que là il y a peu de choses / on ne connaît rien sur la matière / on ne va pas pouvoir répondre à une question sur la matière [O3A]*

Dans cet extrait⁹⁶, les enseignants s'intéressent aux raisons qui, selon eux, font qu'une balle « remonte » via la question [Q2]. La vitesse de lancer [R2B] est énoncée à la suite d'une objection [O2A] de nature empirique : l'existence d'un plan n'est pas suffisante puisqu'une balle posée sur un plan ne rebondit pas. Est alors convoqué le fait qu'un rebond peut se produire même sans vitesse initiale ; il s'agit d'une nouvelle objection [O2C] qui conduit les enseignants à s'intéresser à l'influence de la vitesse sur le rebond. Le nombre des grandeurs devant être considérées (hauteur, vitesse, nombre de rebonds) apparaît alors trop important, ce que traduit l'objection [O2AB] : « oui, il y a plein de choses, là ». A la suite de cette objection, l'étude du rebond est associée à l'étude de la hauteur après le choc à travers la question [Q3] : « qu'est ce qui fait qu'une balle rebondit plus haut ? ». Trois possibles sont alors énoncés : « une force plus forte que la force de gravitation » [R3A], la masse de la

⁹⁶ A ce moment de leurs échanges (prise de parole n°222) les enseignants ne disposent pas du matériel expérimental

balle⁹⁷ [R3B] et sa matière [R3C]. La matière en tant que possible est écartée de l'enquête suite à l'objection [O3A] : « on ne connaît rien sur la matière ».

La reconstruction et l'encodage des interactions sous forme de macrostructures permettent d'accéder à une dynamique d'évolution des questions formulées, de caractériser la façon dont elles évoluent au fil des réponses et des objections qu'elles rencontrent. L'association de plusieurs éléments (questions, réponses, objections) renvoyant à un même intérêt (symbolisé par une même bordure de case) forme la méso structure d'un « problème » singulier. Au delà des problèmes et de leurs dynamiques au sein des interactions, le cadre de la problématisation valorise les nécessités en tant qu'éléments fondamentaux de la construction du savoir scientifique. Si la macrostructure fait apparaître des moments où ces nécessités sont invoquées (affinement ou changement de question par exemple), c'est l' « espace de contraintes » qui nous permet de les caractériser (Orange, 2003).

L'espace des contraintes

Cet outil vise la description de l'évolution des possibles à partir d'un état initial de caractère plutôt « assertorique » (conformé par des constats - contraintes), vers un état « apodictique » (exprimé par des nécessités construites) (Bachelard, 1949/1966). Le schéma 2 représente l'espace de contraintes qui accompagne la macrostructure du schéma 1. Il organise les éléments, mobilisés par les enseignants, qui contraignent la dynamique de construction des problèmes ; ces éléments (contraintes) relèvent de deux registres empiriques et théoriques. Cet espace permet de lire les nécessités à la lumière des contraintes qui les forgent, et d'estimer ainsi le degré d'intervention des conditions prévues dans les milieux 1 et 2.

L'articulation entre ces deux outils conduit *in fine* à dégager des nécessités contraignant des éléments de solution possibles. Précisons que les macrostructures rendent compte d'une dynamique d'apparition de problème, dynamique dont on ne peut pas juger de la nature scientifique; en mettant en lien le registre empirique et le registre théorique pour la création de nécessités, l'espace de contraintes permet lui d'accéder à cette scientificité de construction réalisée.

⁹⁷ Tout au long des échanges enregistrés, les enseignants désignent par « poids » la grandeur « masse », dans l'extrait de verbatim présenté, le « poids » du physicien est appelé « force de gravitation ».

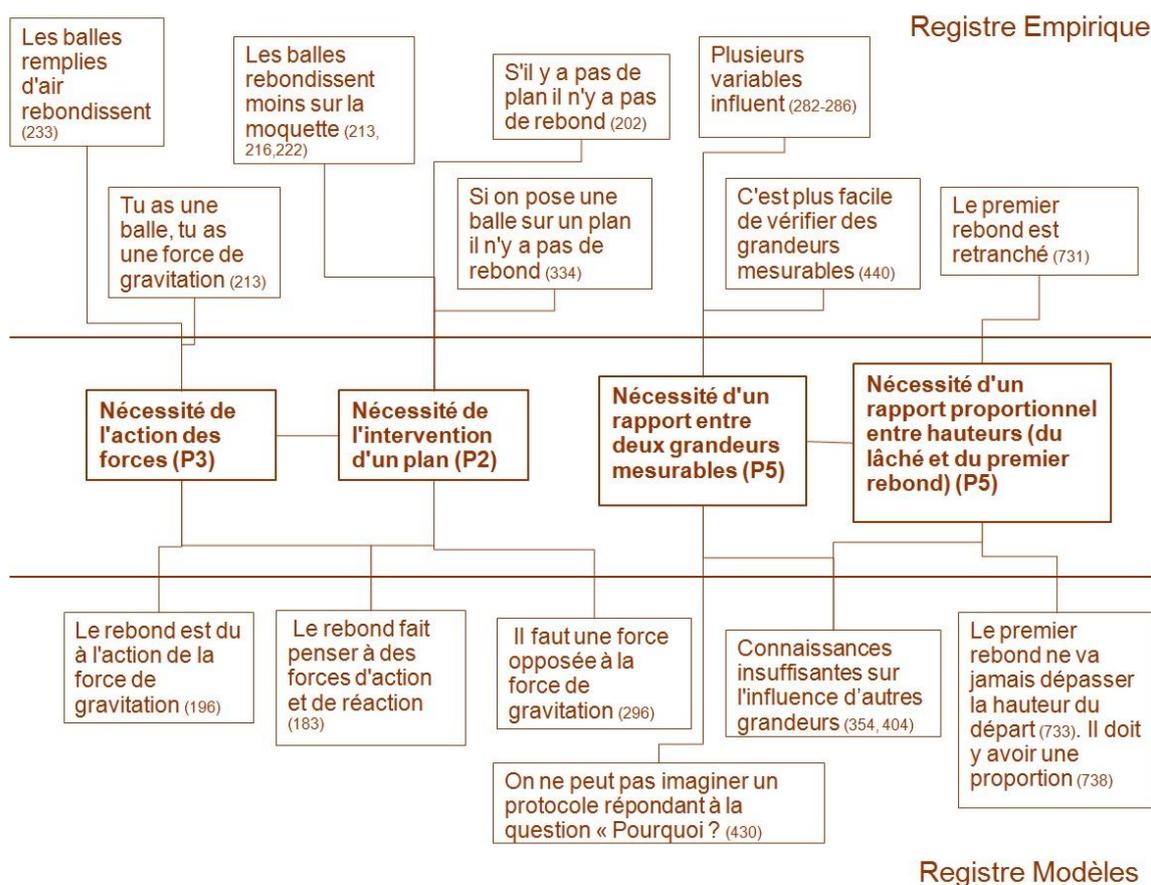


Schéma 2 : Espace des Contraintes pour le groupe d'enseignants « France 3 »

3. Résultats

A chacun des huit groupes d'enseignants correspond une macrostructure et un espace de contraintes particulier. L'analyse des huit macrostructures nous permet d'identifier les types de problèmes abordés par les différents groupes lors de la formation au sein des milieux 1 et 2. L'identification de la nature des objets sur lesquels portent les questions posées au fil des interactions, et les possibles {réponses R_n , d'autres Questions $Q(n')$ } associés nous permet de produire une typologie de ces problèmes. Pour un problème d'un type donné, l'ensemble {questions/possibles} porte sur un objet et/ou un intérêt et/ou une procédure de même nature. Au total, nous avons pu repérer cinq types de problèmes différents ; ils sont présentés dans le tableau 1 ci-après. A ce stade de l'analyse, on ignore si les problèmes sont construits ou non ; c'est l'espace des contraintes qui nous permet d'obtenir cette information, puisque c'est cet outil qui identifie les nécessités associées aux problèmes abordés par les enseignants.

P1	Influence des grandeurs constantes pour une boule donnée et propres à cette boule telles que la masse (souvent appelée poids par les enseignants), la matière, l'élasticité, la dureté
P2	Étude du choc
P3	Influence des grandeurs variables pour une boule donnée (telles que la force, la vitesse de lancé, la hauteur de lâché, la surface sur laquelle la boule rebondit) ou constante pour une boule donnée mais non propre à la boule (force de gravitation)
P4	Choix d'un attribut pour caractériser la qualité du rebond (nombre de rebonds, durée, hauteur du rebond)
P5	Établissement d'un rapport entre deux grandeurs (vitesse de lancé et nombre de rebonds, masse et nombre de rebonds, masse et hauteur du rebond, hauteur du lâché et hauteur du rebond, etc.)

Compte-tenu des spécificités des deux milieux didactiques successifs au sein desquels se sont déployées les activités des enseignants, nous avons procédé à une analyse des dynamiques de problématisation pour chacun des milieux 1 et 2. Les résultats sont présentés pour les groupes français (France n) et colombiens (Colombie n).

Milieu 1

Le tableau 2 nous permet de comparer le nombre et le type de problèmes que nous avons identifiés pour chacun de groupes grâce aux macrostructures (ie : problèmes abordés par les enseignants mais non nécessairement construits, révélés par les macrostructures) et le nombre et le type de problèmes construits (ie : problèmes associés à une ou plusieurs nécessités, révélés par les espaces des contraintes).

On observe tout d'abord que sur les 22 problèmes abordés par les enseignants, 14 d'entre eux (64%) deviennent des problèmes construits. Autrement dit, huit problèmes (parmi les 22 énoncés) ne sont associés à aucune nécessité. Cela conduit, par exemple, le groupe (France 5) à ne construire aucun des problèmes P1 et P3 sur lesquels portaient leurs questions, leurs réponses et leurs objections ; du point de vue de la construction d'un problème pour l'étude du rebond, leurs échanges au sein du milieu 1 se sont révélés infructueux. Plus spécifiquement, l'ensemble des huit groupes aborde l'étude du rebond par un problème de type P1 et sept d'entre eux y associe un problème de type P3. Cependant, seule la moitié de ces problèmes énoncés par les enseignants deviennent des problèmes construits. A l'inverse, le problème P2 (bien que peu présent au sein des macrostructures) semble se prêter davantage au jeu de la construction. Ces constats suggèrent qu'une situation ouverte, même si elle suscite l'intérêt des enseignants, n'est pas nécessairement propice à la production de nécessités et donc à la construction de problèmes à résoudre.

GROUPE	MACROSTRUCTURES	ESPACES DE CONTRAINTES
	Problèmes identifiés	Problèmes construits
Colombie 1	P1 – P3	P3
Colombie 2	P1 – P3 P4 P2	P3 P2
Colombie 3	P1 P3	P1 P3
France 1	P1 – P3	P1
France 2	P1 – P3 P2 P4	P1 – P3 P2 P4
France 3	P3 P1 – P2 – P5	P3 P2 – P5
France 4	P1 – P3	P1
France 5	P1 – P3	
TOTAL	22	14

Tableau 2 - Description du milieu 1 à travers des problèmes posés (macrostructures) et les problèmes construits (espaces de contraintes et nécessités)

Les contraintes les plus présentes au sein du milieu 1 sont celles associées au nombre de variables que les enseignants suivis considèrent comme trop nombreuses (6/10 contraintes repérées). Ces contraintes interviennent le plus souvent lorsque les enseignants discutent de l'influence des grandeurs variables pour une balle donnée ou constante mais non propre à la balle (problème de type P3) ; elles permettent la création de nécessités (ex : « la hauteur du lâché est plus précise à déterminer ») et une ouverture vers de nouveaux possibles (ex : « comment mesurer l'influence de la force de lancer sur la hauteur du premier rebond ? ») qui implique ici le passage d'un problème de type P3 à un problème de type P5.

Milieu 2

L'activité des enseignants au sein du milieu 2 est initiée dans la plupart des cas (6/8) par une question portant sur l'influence des différentes grandeurs sur le rebond. On trouve par exemple des questions telles que « est-ce que la composition de la balle influe sur le rebond ? » (France 4), « la hauteur du lâcher influe-t-elle sur le rebond ? » (Colombie 2), « les différentes surfaces vont-elles faire varier le rebond d'une balle ? » (France 5).

Nous procédons à une analyse des macrostructures et des espaces des contraintes associées à chacun des groupes en suivant une procédure identique à celle réalisées pour le milieu 1. Le tableau 3 présente les types de problèmes construits (révélés par les espaces de contraintes) par les enseignants suivis à partir des problèmes énoncés (révélés par les macrostructures) au sein du milieu 2.

La recherche de l'établissement d'un rapport entre deux grandeurs (problème de type P5) est énoncé par l'ensemble des groupes ayant accédé au milieu 2 (7 parmi les 8 groupes analysés). Etant donné que ce problème n'avait pas été abordé par les groupes au sein du milieu 1 (seul un groupe y travaille), on peut supposer que la production d'un problème de type P5 est induite par le milieu 2. Ensuite, aucun problème de type

P2 n'est posé au sein du milieu 2. L'étude du choc (présente au sein du milieu 1) paraît avoir servi d'appui (ou d'intermédiaire nécessaire) à la construction de problèmes d'autres types et traitables expérimentalement. En outre, il semble que le milieu 2 ne soit pas plus propice que le milieu 1 à l'apparition de problèmes de type P4, liés aux choix de critères pour définir la qualité d'un rebond.

	MACROSTRUCTURES	ESPACE DE CONTRAINTES
GROUPE	Problèmes identifiés	Problèmes construits
Colombie 1	P1 P5	P1
Colombie 2	P5	P5
Colombie 3		
France 1	P1- P3 P4 P5	P1 P4
France 2	P3 – P1 P5	P5
France 3	P5	P5
France 4	P3 P1 P5	P1 P5
France 5	P1 P4 P5	P1 P4 P5
TOTAL	17	11

Tableau 3 - Description du milieu 2 à travers des problèmes posés (macrostructures) et les problèmes construits (espaces de contraintes et nécessités)

Si l'on examine le passage entre problèmes énoncés et problèmes construits on constate que 65% des problèmes posés ont été construits. Comme pour le milieu 1, le fait que le problème soit posé n'implique pas qu'il a été construit et le passage d'une catégorie à l'autre s'effectue dans les mêmes proportions. Toutefois, les problèmes construits au sein du milieu 2 sont assez différents de ceux construits au sein du milieu 1 : ici ce sont les problèmes de types P5 qui sont construits (par 5 des huit groupes analysés) alors que les problèmes de ce type étaient très peu présents dans le milieu 1 (1/8). Par ailleurs, les problèmes de type P4 deviennent dans tous les cas des problèmes construits (dans le milieu 1, c'était le cas pour P2).

La participation des contraintes au sein du milieu 2, concernant l'apparition et la construction des problèmes, révèle une tendance : pour quatre des huit groupes suivis les résultats expérimentaux obtenus par les enseignants viennent contredire ce qui était attendu. Lorsque cette contrainte agit dans la dynamique d'un problème de type P1, on constate qu'elle participe à la création de nécessités (ex : « il y a une influence de la matière sur le rebond de balles », France 2) ici à l'origine du passage d'un problème de type P1 à un problème de type P5.

L'intervention de contraintes dans la construction des problèmes (ie : pour la création de nécessités) se présentent dans le milieu 2 d'une façon plutôt hétérogène, comme le montre le tableau 4.

On notera enfin, que les dynamiques d'énonciation et de construction des problèmes ne paraissent pas spécifiques à l'origine culturelle des enseignants suivis.

<i>CONTRAINTES SOUS-TENDANT LA CONSTRUCTION DE...</i>	<i>...PROBLEMES DANS LE MILIEU 1</i>	<i>...PROBLEMES DANS LE MILIEU 2</i>
<i>Les variables à considérer sont trop nombreuses</i>	P2, P3, P5	P1, P4, P5
<i>Les connaissances disponibles des enseignants sont insuffisantes</i>	P1, P5	
<i>Les résultats expérimentaux contredisent ce qui était attendu</i>		P5, P1
<i>Les grandeurs physiques ne peuvent pas être mesurées avec le matériel disponible</i>	P1, P3	P5, P4

Tableau 4 - Contraintes à l'origine de la construction des problèmes dans les milieux 1 et 2.

Conclusion

En complément des recherches engageant la théorie de l'activité de problématisation, l'étude que nous avons conduite prend appui sur une situation qui n'a pas été choisie pour son caractère inattendu susceptible de révéler certaines conceptions, ou orchestrée pour remettre en cause des raisonnements opératoires mais non conformes à ceux de la physique établie. Cette situation, indéterminée au départ (il s'agit d'un phénomène familier absent de l'Ecole) a été choisie sur la base de l'hypothèse suivante: le rebond des balles permet l'expression de plusieurs types de problèmes scientifiques. Inspirés par l'approche des problèmes telle que promue par Dewey, nous avons également supposé que le caractère familier de la situation rendrait la formulation des problèmes possible y compris par des enseignants n'ayant pas étudié les sciences au-delà des classes secondaires. L'usage de la théorie de l'activité de problématisation nous a permis de mettre ces hypothèses à l'épreuve et de caractériser, au-delà des processus que nous venons de révéler, différents types de problèmes que nous pouvons mettre en regard des « possibles » du physicien. Les résultats que nous énonçons ici concernent de manière indifférenciée, enseignants colombiens et français. En effet, les comportements observés (choix des questions, nature des objections, procédures expérimentales mises en œuvre, etc) permettent de traiter l'ensemble des enseignants formés au sein d'un même corpus.

On remarquera tout d'abord que les aspects énergétiques et thermodynamiques de la situation proposée (l'échauffement des balles par exemple) ont été très rarement considérés ; de même, la comparaison balle « dure » / balle « molle » (Viard, 2003) n'a pas suscité un grand intérêt des enseignants formés. L'intérêt s'est plutôt porté sur les facteurs qui, selon les enseignants, favorisent un « bon rebond » : vitesse de lancer, force exercée par le lanceur, nature du support du choc, masse et élasticité de la balle ; le « bon » rebond étant caractérisé le plus souvent par le nombre maximal de rebond, la hauteur du rebond après le premier choc, la

durée pour un nombre total de rebond. Le tri entre ces facteurs s'est opéré à la suite de contraintes d'ordre divers (contraintes révélées par les objections) :

- Cognitives (ou liées aux connaissances disponibles des enseignants) : il pouvait s'agir par exemple de ramener l'étude du rebond à l'influence d'une grandeur sur une autre chaque fois que le nombre de grandeurs à prendre en compte était considéré comme trop important ; il pouvait également s'agir d'un changement d'intérêt lorsque les enseignants eux-mêmes se rendaient compte que leurs connaissances étaient insuffisantes (soit d'un point de vue méthodologique : « on ne sait pas répondre aux questions 'pourquoi' », soit d'un point de vue savant : « on ne connaît rien sur la matière »).
- Expérimentales (au sein du milieu 2) : d'une part, les instruments de mesure disponibles limitaient les enseignants dans le choix des grandeurs possiblement mesurables (les forces, les accélérations, les vitesses, sont, de fait, absentes des expériences réalisées) ; d'autre part, les balles mises à disposition pouvaient se comporter de manière inattendue (les enseignants avaient par exemple à leur disposition des balles de même masse et de même volume et ne rebondissant pas de la même façon).

Dans les résultats obtenus par les enseignants (qu'ils soient français ou colombiens), il est enfin remarquable de noter que ce qui est finalement systématiquement recherché (via une heuristique ad hoc) est une loi, une relation entre deux variables, obtenue de manière phénoménologique. Le fait que les enseignants aient orienté leur activité vers la recherche de relations entre des grandeurs mesurables ou observables est certainement à interpréter à la lumière des connaissances déjà disponibles. On pourrait dire, en fait, que la construction d'une connaissance peut émerger d'une situation indéterminée à condition que cette connaissance soit le résultat d'une activité cognitive de résolution d'un problème engageant d'autres connaissances situées à l'intérieur de la zone proximale de développement (ZPD) des enseignants suivis, ou très proche de celle-ci (Vygotsky, 1995 ; Drevillon, 1988) ; c'est le cas par exemple du coefficient de restitution construit en tant que rapport (constant) des hauteurs successives. A l'inverse, on constate que si le savoir se trouve en dehors de la ZPD, c'est à dire trop éloigné de l'espace cognitif permettant le traitement de données renvoyant à des connaissances déjà disponibles, alors le problème énoncé reste sans réponse, l'enquête s'arrête sans qu'aucune connaissance n'ait pu être construite ; c'est le cas, par exemple de l'élasticité⁹⁸. On s'aperçoit enfin que si le problème construit par les enseignants fait face à un obstacle alors les enseignants seuls ne peuvent pas le surpasser et il convient qu'ils soient guidés ; c'est le cas par exemple lorsqu'ils cherchent une relation de dépendance entre masse d'une balle et nombre de rebonds ; la relation n'existant pas, l'énoncé « le rebond ne dépend pas de la masse des balles » n'est pas considéré par les enseignants suivis comme une connaissance construite, et le problème est délaissé. Ce dernier point tendrait à montrer que les démarches pédagogiques d'apprentissage par franchissement d'obstacle (la DI telle que présentée dans les programmes de collège, voir Mathé et al. 2008) méritent d'être particulièrement accompagnées pour être fécondes.

⁹⁸ De ce point de vue, le rôle de l'enseignant (en tant que médiateur du savoir) reste essentiel.

Perspectives : problématisation et culture épistémologique des enseignants

Notre travail, pris dans une perspective élargie incluant des éléments de culture épistémologique, nous permet de dresser quelques pistes relatives à une exploration du rapport des enseignants à la nature de la science (Brickhouse 1990, Lederman 1992, Appleton, 2003). Ainsi, si notre recherche n'a pas pour objectif initial de regarder les effets l'activité de problématisation sur l'« épistémologie spontanée » (Desautels et al. 1993) des enseignants, il n'en demeure pas moins que cette dimension affleure de manière constante tout au long des interactions au sein des groupes. Le fait par exemple qu'une non-dépendance (le rebond ne dépend pas de la masse des balles) ne soit pas retenue par les enseignants comme une connaissance valide (ou valable) ou le fait que la plupart des connaissances construites prennent la forme d'une relation entre deux grandeurs mesurables, pourraient être des indices de la façon dont les enseignants perçoivent l'activité scientifique. Il en va de même pour les procédures suivies, le fait, par exemple, que les questions « pourquoi » se transforment en question « comment » n'est peut-être pas sans conséquence sur l'image que les enseignants ont de l'activité scientifique. C'est d'ailleurs parce que nous avons choisi une démarche qui inclut la construction d'un problème à partir d'une situation indéterminée que ces transformations de « pourquoi » en « comment » sont apparues. De ce point de vue, notre travail élargit l'approche institutionnelle française. En effet, la démarche d'investigation se cristallise (en France) autour de l'« appropriation d'un problème par les élèves » (MEN, 2008, p. 4), et ne valorise pas l'activité de construction du problème. En créant une formation directement inspirée de la façon dont Dewey considère l'« inquiry », nous donnons aux enseignants la possibilité d'entrer en contact avec l'idée que la production du savoir en science relève autant de la construction des problèmes que de leur résolution. A ce stade, nous n'avons pas les moyens d'examiner les effets de cette mise en contact mais il sera dans doute fructueux de questionner la pertinence de notre mise en situation sur ce point. Cela pourrait faire de la situation du « rebond » le cœur d'une formation qui n'aurait pas forcément vocation à être reproduite en classe, mais dont l'objet serait de contribuer à la formation de la culture épistémologique des enseignants.

Bibliographie

- ANDERSON R. (2007), « Inquiry as an Organizing Theme for Science Curricula ». *Handbook of Research in Science Education*, S. Abell & N.G Lederman (éd.), Londres, Laurence Erlbaum Associates Publisher, p. 807-830.
- APPLETON, K. (2003). « How do beginning primary school teachers cope with science? Toward an understanding of science teaching practice », *Research in Science Education*, 33(1), p. 1–25.
- BARDIN L. (1977), *L'analyse de contenu*, Paris, Presses Universitaires de France.
- BACHELARD G. (1938), *La formation de l'esprit scientifique*, Paris, Vrin.
- BACHELARD G. (1966), *Le rationalisme appliqué*. Paris, Presses Universitaires de France.
- BEORCHIA F. (2005), « Débat scientifique et engagement des élèves dans la problématisation: Cas d'un débat sur la commande nerveuse du mouvement en CM2 (10-11 ans) », *Aster*, 40, p. 121-151.
- BOILEVIN J. M. (2013), « La place des démarches d'investigation dans les sciences », *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation. Des formations et des pratiques de classe*, M. Grangeat (dir.), Grenoble, Presses Universitaires de Grenoble.
- BRICKHOUSE N. W. (1990), « Teachers' beliefs about the nature of science and their relationship to classroom practice », *Journal of Teacher Education*, 41(3), p. 53–62.
- BROUSSEAU G. (1987), *Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques*, Bordeaux, Institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques.
- CALDAS H. & SALTIEL E. (1995), « Le frottement cinétique analyse de raisonnements des étudiants », *Didaskalia*, 6, p. 55-71.
- CALMETTES B. (2009), « Milieu didactique et démarche d'investigation en physique Analyses de pratiques ordinaires », Actes du premier colloque international de l'ARCE, Genève, 15 et 16 Janvier 2009.
- CANGUILHEM G. (1965). *La connaissance de la vie*, Paris, Vrin.
- COQUIDÉ M., FORTIN C., & RUMELHARD G. (2009), « L'investigation: fondements et démarches, intérêts et limites », *Aster*, 49, p. 51-78
- CRÉPIN-OBERT P. (2010), *Construction de problèmes et obstacles épistémologiques à propos du concept de fossile : étude épistémologique comparative entre des situations de débat à l'école primaire et au collège et des controverses historiques du XVIIe et XIXe siècle*, Thèse de doctorat, Université de Nantes.
- DEWEY J. (1938), *Logique. La théorie de l'enquête*, Paris, Presses Universitaires de France.
- DESAUTELS J., LAROCHELLE M., GAGNE B. & RUEL F. (1993). « La formation à l'enseignement des sciences: le virage épistémologique ». *Didaskalia*, 1, p. 49-67

- DORIER J. L. (2012), « La démarche d'investigation en classe de mathématiques: quel renouveau pour le questionnement didactique ? », *Didactique des sciences et démarches d'investigation: références, représentations, pratiques et formation ?* B. Calmettes (dir.), *l'Harmattan*, p. 63-86.
- DREVILLON J. (1988), « Reconnaissance d'une situation-problème et fonctionnement cognitif », *Revue française de pédagogie*, 82, p. 9-14.
- FABRE M. (2009), « Qu'est-ce que problématiser ? Genèses d'un paradigme », *Recherches en Éducation*, 6, p. 22-31.
- FABRE M. & ORANGE C. (1997), « Construction des problèmes et franchissements d'obstacles », *Aster*, 24, p. 37 – 57.
- FAWAZ A. & VIENNOT L. (1986), « Image optique et vision », *Bulletin de l'Union de Physiciens*, 686, p. 1125-1146.
- GOH, N (1993), « Some Misconceptions in Chemistry : A Cross-Cultural Comparison, and Implications for Teaching, *Australian Science Teachers Journal*, 39(3), p. 65-68
- GRANGEAT M. (2013), *Les enseignants de sciences face aux démarches d'investigation. Des formations et des pratiques de classe*, Grenoble, Presses Universitaires de Grenoble.
- GYLLEMPALM J., WICKMAN P.O. & HOLMGREN S.O. (2010) « Secondary science teachers' selective traditions and examples of inquiry-oriented approaches », *Nordic Studies in Science Education*, 6(1), p. 44-60.
- HAYES M. T. (2002), «Elementary preservice teachers' struggles to define inquiry-based science teaching», *Journal of Science Teacher Education*, 13(2), p. 147-165.
- LANGLOIS F., GRÉA J., & VIARD, J. (1995), « Influencia de la formulación del enunciado y del control didáctico sobre la actividad intelectual de los alumnos ». *Enseñanza de las Ciencias*, 13(2), p.179–191.
- LEDERMAN N. G. (1992), « Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research », *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), p.331–359
- LHOSTE, Y. (2008). *Problématisation, activités langagières et apprentissage dans les sciences de la vie. Étude de quelques débats scientifiques dans la classe dans deux thèmes biologiques: nutrition et évolution*, Thèse de doctorat, Université de Nantes.
- MATHÉ S., MEHEUT M. & de HOSSON C. (2008), « Démarche d'investigation au collège: quels enjeux ? » *Didaskalia*, 32, p. 41-76.
- MATHERON Y, (2010). « Démarches d'investigation et Parcours d'Étude et de Recherche en mathématiques: entre injonctions institutionnelles et étude raisonnée des conditions et contraintes de viabilité au sein du système », XVIIe colloque de la CORFEM (Commission de Recherche sur la Formation des Enseignants de Mathématiques), Caen, 17 - 18 juin.

- MASON C. L. (1992), « Concept mapping: A tool to develop reflective science instruction ». *Science Education*, 76(1), p. 51-63.
- NOVAK J. D. (1990), « Concept mapping: A useful tool for science education », *Journal of Research in Science Teaching*, 27, p. 937–949.
- MEN (2008), *Programmes de collège*, Bulletin Officiel de l'Education Nationale spécial n° 6 du 28 août 2008
- MEN (2010). *Programme de Physique-Chimie en classe de seconde générale et technologique*. Bulletin officiel de l'Education Nationale, Spécial 4 du 29 04 2010
- ORANGE C. (2003). Débat scientifique dans la classe, problématisation et argumentation: le cas d'un débat sur la nutrition au cours moyen, *Aster*, 37. p. 83 – 107.
- VIARD J. (2003), « Peut-on ignorer la cause du rebond ? Une question historique toujours d'actualité », *Enquête sur le concept de causalité*, L. Viennot & C. Debru (dir.), Science Histoire et Société, Paris, Presses Universitaires de France, p. 31-55.
- VYGOTSKY L. S. (1985), *Pensée et langage*, trad. F. Sève, Paris, Messidor.
- VOSNIADOU S. & BREWER W. (1990). *A cross-cultural investigation of children's conceptions about the Earth, the Sun and the Moon : Greek and American data*. Illinois, Center for the study of Reading, University of Illinois at urbana-champaign.