

POUR UNE PÉDAGOGIE D'INVESTIGATION
DANS L'ENSEIGNEMENT SCIENTIFIQUE

UNE SYNTHÈSE À L'USAGE DU MONDE DE L'ÉDUCATION



Ce document est publié grâce aux concours de l'Académie des sciences (France),
du programme Éducation de l'IAP et du Wellcome Trust (UK).

Responsables de la publication

Wynne Harlen et Jorge E.Allende

Composition du groupe de travail

Jorge Allende, Wynne Harlen, Pierre Léna, Jose Lozano, Yves Quéré, Jayashree Ramadas, Senta Raizen, Pat Rowell, Dietrich Schiel, Soon Ting Kueh

Parrainages

InterAcademyPanel (IAP)
Académie des sciences
Ministerio de Educación de Chile
Academia Chilena de Ciencias
Fundación para Estudios Biomédicos Avanzados
Facultad de Medicina

Traduction de l'anglais

Aurore Fargette

Édition française

Béatrice Ajchenbaum-Boffety, Pierre Léna, Édith Saltiel
(Académie des sciences - *La main à la pâte*)

Graphisme et mise en page

Brice Goineau

Impression

Pour une pédagogie d'investigation dans l'enseignement scientifique

Le Groupe inter-académique pour les questions internationales (InterAcademy Panel ou IAP), qui réunit les académies des sciences du monde entier, a, depuis 2003, placé parmi ses premières priorités le projet d'améliorer l'éducation scientifique des enfants à travers le monde. Le "Programme de l'enseignement scientifique" de l'IAP, dirigé par le Professeur Jorge Allende (Académie des sciences du Chili), considère qu'un enseignement scientifique fondé sur une pédagogie d'investigation (*Inquiry Based Science Education* ou IBSE en anglais, Enseignement des sciences fondé sur l'investigation, ESFI en français dans ce qui suit) possède des vertus essentielles qui permettent aux enfants de pratiquer activement la démarche scientifique et d'en comprendre les caractéristiques fondamentales, tout en leur faisant partager les valeurs de la science.

Depuis 2005, l'IAP a organisé divers ateliers sur l'évaluation de la mise en œuvre des programmes ESFI. En 2006, il a publié un *Rapport du groupe de travail sur la collaboration internationale pour l'évaluation de programmes ESFI*. Ce travail a révélé l'importance de la formation professionnelle des enseignants, initiale ou continuée, et donné lieu à l'organisation d'une Conférence internationale sur ce sujet à Santiago-du-Chili (20-22 octobre 2008) parrainée par IANAS, l'Organisation américaine du programme inter-américain de l'enseignement des sciences, le Ministère de l'éducation du Chili, l'Académie des sciences du Chili, l'Université du Chili et le Wellcome Trust britannique.

Cette conférence a conclu à la nécessité d'une courte publication à destination, notamment, des autorités de l'éducation, soulignant les avantages de la pédagogie d'investigation et les difficultés que provoque son absence dans les cycles primaire et secondaire. Le rapport complet de la conférence - comprenant une révision du texte de base élaboré pour sa tenue, les résultats des discussions, les conclusions et recommandations adoptés par les participants sur le site web de l'IAP - est disponible à l'adresse suivante :

<www.interacademies.net/CMS/Programmes/3123.aspx>

Le présent document répond à ce vœu. Il a été élaboré par un groupe de travail de IAP placé sous la responsabilité du Professeur Wynne Harlen (UK).

UNE PÉDAGOGIE D'INVESTIGATION POUR ENSEIGNER LES SCIENCES (ESFI) : COMMENT Y PRÉPARER LES PROFESSEURS ?

Introduction

Dans le monde entier, de très nombreux pays s'efforcent de renouveler l'enseignement scientifique afin d'enrayer le déclin d'intérêt des jeunes pour la science et de développer, chez les futurs citoyens, la culture scientifique nécessaire pour agir de manière responsable dans un monde de plus en plus marqué par la science et la technologie. Il est avéré⁽¹⁾ qu'un changement de pédagogie, passant de l'enseignement magistral passif à l'apprentissage actif *via* l'investigation, contribue de manière déterminante à améliorer l'enseignement des sciences et de la technologie⁽²⁾. Un tel changement nécessite de mettre en place à grande échelle une formation professionnelle des enseignants adaptée, tant initiale que continuée.

Ce document résume la logique de l'enseignement scientifique fondé sur l'investigation à l'école primaire, et explicite les objectifs, les enjeux, les contenus et les méthodes qui doivent caractériser la formation professionnelle des enseignants pour parvenir à doter tous les élèves d'un apprentissage et d'une culture scientifiques de qualité.

De l'utilité d'un enseignement scientifique fondé sur l'investigation

Partons d'un constat universel : le monde change à un rythme tel qu'il faut sans cesse réexaminer l'efficacité de l'enseignement, en particulier en science et en technologie. Selon l'OCDE, « Les élèves ne peuvent pas apprendre tout ce dont ils auront besoin à l'âge adulte. Ce qu'ils doivent acquérir, ce sont les conditions préalables à la réussite de l'apprentissage dans l'avenir. »⁽³⁾ L'enseignement scientifique devrait ainsi permettre aux élèves :

1. *de saisir les grandes lignes de pensée⁽⁴⁾ qui permettent de comprendre des aspects du monde qui les entoure, qu'ils soient naturels ou résultent des applications de la science.*

Il devrait ainsi profiter non seulement à l'individu, qu'il aide dans des choix affectant sa santé, son rapport à son environnement et sa carrière, mais aussi à la société, chacun prenant alors des décisions en connaissance de cause et évitant, par exemple, le gaspillage d'énergie et de ressources, la pollution, et les conséquences d'une mauvaise alimentation ou d'un abus de médicaments.

⁽¹⁾ EC 2007; IAP 2006

⁽²⁾ Dans la suite de ce document, le terme "enseignement scientifique" inclut l'enseignement technologique.

⁽³⁾ OECD 1999:9

⁽⁴⁾ Dans le présent document, nous avons traduit par "grandes lignes de pensée" le concept de "big ideas" largement utilisé dans la littérature anglo-saxonne concernant l'éducation à la science.

2. *de comprendre, de façon élémentaire, ce qu'est la science, « comment ça marche », quels sont ses points forts et ses limites.*

Comprendre le rôle central de la preuve dans l'activité scientifique permet aux élèves de réaliser que les théories et principes avancés pour expliquer des phénomènes doivent parfois être modifiés ou abandonnés lorsque de nouvelles découvertes viennent à contredire les anciennes. Il est important d'exposer et de valoriser les preuves recueillies de manière scientifique si l'on veut échapper à l'influence de la pseudo-science que proposent souvent les publicitaires et les médias.

3. *de développer ses capacités à communiquer expériences et idées en sciences*

Il importe également d'être capable de développer des compétences, en matière de langage comme de représentations mentales, pour exprimer ses pensées et ses idées, pour donner du sens à de nouvelles expériences et convaincre les autres (par l'argumentation) à l'aide d'explications construites. Les élèves ont aussi besoin d'apprendre le vocabulaire et les conventions qui leur permettront de partager et de défendre des idées par la discussion, mais aussi par la lecture et l'écriture.

4. *d'être capable de continuer à apprendre.*

L'acquisition de concepts, de compétences, d'attitudes, de connaissances et de compréhension est plus importante que l'accumulation de savoirs théoriques factuels. On peut facilement trouver des informations sur des faits grâce aux sources d'information largement disponibles aujourd'hui, en raison de l'utilisation des ordinateurs et en particulier d'internet. Ce qui est vraiment nécessaire, ce sont les compétences permettant d'accéder à ces sources, de sélectionner les informations pertinentes et de leur donner du sens.

Parmi ces objectifs, les trois premiers se résument en une phrase : développer la culture scientifique. Dans ce contexte, le terme de culture désigne la capacité de s'engager efficacement dans certains aspects de la vie moderne, de disposer des connaissances et des compétences nécessaires à chacun d'eux - qui ne sont pas celles des futurs spécialistes ou des individus qui en feront un usage professionnel dans un domaine scientifique. Il signifie que l'on est au fait des grands domaines et orientations de la science, de sa nature et de ses limites, de ce qu'est la démarche scientifique, mais aussi que l'on est capable de mettre à profit ces connaissances pour prendre des décisions en tant que citoyen éclairé et impliqué.

Le rôle des compétences liées à la pratique de l'investigation

Pour dessiner les grandes orientations, il faut prendre en compte la façon dont les enfants apprennent. Si l'on veut qu'ils comprennent en profondeur, il faut qu'ils participent activement. Les recherches effectuées depuis un demi-siècle montrent que les enfants ont leurs propres conceptions des aspects scientifiques du monde qui les entoure, qu'ils aient ou non reçu un enseignement scientifique ; et que certaines de ces conceptions peuvent être non scientifiques. Le rôle de l'enseignant est de fournir aux élèves les expériences, les preuves et les aptitudes à raisonner qui leur permettront de construire des idées *scientifiques*. Si l'on veut que ces idées soient bien comprises, leur construction doit passer par la réflexion des élèves eux-mêmes. Selon ce processus, les idées initiales des élèves sont testées par l'émission d'hypothèses, par le recueil, l'analyse et l'interprétation de nouvelles données afin de tester la validité des hypothèses initiales et d'en communiquer les résultats.

La compréhension construite au cours de cette activité dépend essentiellement des compétences

mises en œuvre, de la façon dont sont élaborées les hypothèses, dont sont recueillis les résultats et de la façon dont ils sont interprétés. Ce sont ces compétences qui caractérisent l'activité scientifique. La définition de l'investigation illustre bien la relation entre les façons de penser et la construction des idées : il s'agit d'un processus au cours duquel les élèves,

par l'expérimentation directe sur la matière et l'observation, par la consultation de livres, d'autres ressources, d'experts, et par le débat, élaborent leur propre compréhension d'idées scientifiques fondamentales. Tout ceci se déroule sous la direction du professeur⁽⁵⁾.

Certes, tout enseignement scientifique ne nécessite pas la mise en œuvre d'une démarche d'investigation ; ainsi, l'enseignement magistral est plus efficace pour faire apprendre des noms, des conventions et des savoir-faire de base permettant d'utiliser le matériel lorsque le besoin s'en fait sentir. Mais il reste important de s'assurer que c'est à la démarche d'investigation que l'on fait appel lorsque le but poursuivi est de *comprendre*.

Pourquoi commencer à l'école primaire ?

Les points précédents se réfèrent à l'enseignement des sciences à tout âge, mais il existe des raisons particulières pour commencer dès l'école primaire un enseignement de science fondé sur l'investigation. L'on peut exploiter la curiosité naturelle des jeunes enfants pour l'exploration de leur environnement immédiat. C'est le début du développement de leur compréhension scientifique. L'idée essentielle est que les "grandes" lignes ou idées de la pensée scientifique, ainsi dénommées en raison de leur capacité à expliquer une série de phénomènes liés entre eux, ne peuvent être enseignées directement ; elles sont en effet forcément très abstraites et dénuées de sens si elles n'évoquent pas les situations réelles auxquelles elles renvoient. Elles sont créées à partir de "petites" idées, développées à partir de la compréhension de phénomènes familiers aux enfants. Par exemple, si les enfants comprennent, par l'investigation et l'observation, qu'il y a interdépendance entre les plantes, les animaux et leur propre environnement - leur jardin, le parc, la rivière ou la haie - ils pourront alors comprendre les raisons pour lesquelles on doit protéger les forêts tropicales. Mais si l'on prend pour point de départ les grandes questions traitant de la conservation de la forêt, elles risquent d'être perçues comme des slogans, et les relations précitées seront peut-être appréhendées bien superficiellement.

En outre, de nombreux travaux de recherche viennent à l'appui des observations suivantes:

- La science enseignée à l'école primaire met à l'épreuve les idées intuitives et non scientifiques des enfants, lesquelles peuvent interférer avec l'apprentissage ultérieur de la science si elles n'ont pas été remises en question entre temps.
- L'expérience de la démarche d'investigation, même si l'enfant ne l'entreprend que modestement, lui permet d'apprécier la façon dont fonctionne la science, de son pouvoir et de ses limites, et de jouir du plaisir de la découverte en pratiquant une activité scientifique.
- La science peut aider l'enfant à comprendre certains aspects de la vie quotidienne liés à la santé et à la sécurité pendant son enfance, mais aussi leurs effets à plus long terme sur l'environnement, importants pour son avenir et celui des autres.

⁽⁵⁾ NSF, 1997:7

- L'activité scientifique, l'enseignement de l'histoire des sciences et de ses acteurs contribuent à considérer la science comme un élément important de l'activité humaine, au cours de laquelle, par le recueil systématique d'informations, par l'utilisation de résultats et de preuves, l'on construit des connaissances solides.
- *Participer à une activité scientifique conduit à reconnaître l'intérêt de raisonner à partir de résultats et de preuves, ce qui s'avère nécessaire pour la suite de l'apprentissage scientifique, et au-delà [].*⁽⁶⁾

Implications

Le passage d'un enseignement scientifique traditionnel, fondé sur des textes et des faits, à un enseignement fondé sur une pédagogie d'investigation, a d'énormes conséquences sur les choix des programmes scolaires, sur la formation des enseignants, sur la mise à disposition de ressources pédagogiques - y compris celles que peuvent constituer des accompagnateurs - et sur l'évaluation de l'apprentissage. Le but de l'enseignement actuel, en particulier celui qui est fondé sur l'investigation, est de rendre les élèves plus autonomes dans leur façon d'apprendre. Ceci implique que les enseignants développent de nouvelles relations avec leurs élèves, et leur fassent assez confiance pour leur permettre d'élaborer leurs propres idées⁽⁷⁾. **Cette confiance, cette compréhension sont déterminantes quant à la capacité des professeurs de proposer à leurs élèves des situations qui vont leur permettre de développer une meilleure compréhension du monde qui les entoure à l'aide de la démarche d'investigation.**

La démarche d'investigation est introduite dans plus de 30 pays de toutes les régions du globe ; par exemple au Chili, en Colombie, en Afghanistan, en Estonie, en France, au Sénégal, en Chine, au Cambodge, en Australie⁽⁸⁾. Mais sa mise en œuvre ne se fait pas sans difficultés, et il est important de bien identifier les obstacles qui peuvent se présenter lorsque l'on souhaite transformer les pratiques pédagogiques. Des études menées dans de nombreux pays révèlent que les problèmes que soulève ça et là l'enseignement des sciences à l'école primaire par la démarche d'investigation ont bien des points communs.

Le premier touche à la compréhension qu'ont les enseignants du sujet scientifique abordé. Aussitôt après vient la question de l'évaluation ; elle ne concerne souvent que la connaissance de faits établis et la nécessité pour les enseignants de couvrir un programme surchargé. Manque de temps, manque de ressources, d'espace et d'aide apparaissent souvent comme un frein à l'évolution de l'enseignement. Beaucoup de ces facteurs ne dépendent pas des professeurs, mais relèvent de choix d'orientation effectués en amont. Même lorsqu'on fournit aux enseignants de nouveaux matériels et de nouvelles ressources pédagogiques, ce qui modifie radicalement l'expérience et l'apprentissage des élèves, ce sont les interactions entre enseignants et élèves. Les évaluations de l'ESFI ainsi que d'autres résultats de recherche ont montré que l'enseignant représente le facteur le plus important de la réussite scolaire⁽⁹⁾. C'est pourquoi la formation professionnelle des enseignants est au centre de notre propos.

⁽⁶⁾ Harlen, 2008: 15.

⁽⁷⁾ Pour de plus amples informations concernant les activités des élèves et le rôle des enseignants, consulter le *Rapport du groupe de travail sur la collaboration internationale dans l'évaluation de programmes IBSE* de l'IAP. (2006).

⁽⁸⁾ Pour une liste exhaustive, voir le rapport de l'IAP mentionné à la note 6.

⁽⁹⁾ Hattie, 2003.

Faire évoluer l'enseignement grâce à la formation continuée des enseignants

Les changements de pratiques, nécessaires pour mettre en œuvre un enseignement fondé sur l'investigation et aboutir à une culture scientifique et à un apprentissage tout au long de la vie, constituent un défi tout particulier. Outre des modifications d'ordre pédagogique, les enseignants doivent avoir une bonne maîtrise du contenu à enseigner et de la nature de la science. Les recherches montrent qu'une mauvaise connaissance des principes qui fondent la science conduit à un manque de confiance pour l'enseigner, à une tendance à trop se référer aux livres scolaires et à éviter les activités expérimentales, les discussions et les questions des enfants. De telles pratiques s'opposent aux conceptions de l'enseignement qui privilégient l'expérience directe, la discussion et l'argumentation. **Si l'on souhaite que les professeurs développent suffisamment de confiance et de talent pour enseigner les sciences autrement, il leur faut saisir l'occasion d'expérimenter, de comprendre et d'apprécier la pédagogie d'investigation, au lieu de se limiter à transmettre des informations extraites de manuels scolaires.**

Bien que les enseignants continuent à apprendre de bien des façons, notamment par le biais de discussions informelles avec leurs pairs, il est peu probable que ces contacts informels débouchent sur des changements considérables dans les rôles, les convictions et les pratiques nécessaires à la mise en œuvre de l'ESFI. Il importe en revanche que les enseignants puissent disposer d'une offre organisée, afin de se pencher sur les conceptions et les attitudes qu'il convient de transformer. En matière de conception de la formation professionnelle des enseignants, un changement durable des pratiques enseignantes exige que l'on soit particulièrement attentif aux points suivants :

- *Contenu et objectifs* : quels sujets et quels types d'activités propose-t-on ?
- *Structure et moyens* : comment les activités sont-elles organisées ?
- *Développement et soutien* : comment les expériences sont-elles mises à la portée du plus grand nombre d'enseignants ?
- *Évaluation* : quels sont les résultats recueillis sur les activités de formation professionnelle des enseignants ? Comment le sont-ils, et comment sont-ils exploités ?

Contenu et objectifs

Le contenu de la formation professionnelle des enseignants pour l'ESFI doit avoir pour principaux objectifs de développer la confiance devant le sujet traité, et de comprendre le sens de l'apprentissage et de l'enseignement par l'investigation.

Comme on l'a noté plus haut, la plupart des enseignants de l'école primaire ne sont pas sûrs de pouvoir comprendre les concepts scientifiques, et ils manquent donc de confiance pour les enseigner ; toutefois, ce problème résulte souvent du fait qu'ils pensent qu'enseigner la science consiste à transmettre correctement des faits aux élèves. Les enseignants de l'école primaire ont indéniablement besoin de comprendre la science. Mais il est tout aussi important qu'ils soient en mesure d'engager les élèves à apprendre d'une manière qui développe autant leur compétence en termes de démarche d'investigation que leurs connaissances en la matière.

Ces deux objectifs peuvent être atteints simultanément si la formation professionnelle des enseignants leur permet d'apprendre la science par une démarche d'investigation adaptée à leur niveau, qui leur donne l'occasion d'expérimenter eux-mêmes et sans intermédiaire des savoir-faire dans ce domaine tout en leur permettant de comprendre le phénomène qu'ils étudient.

Ces expériences ne sont pas des activités destinées aux élèves, et l'on ne demande pas aux enseignants de jouer un rôle, mais de devenir eux-mêmes et, pour un temps, investigateurs d'un phénomène courant (tel que chercher la raison pour laquelle l'extérieur d'une cannette est humide lorsqu'on la sort du réfrigérateur), et d'apprendre par l'investigation. La réflexion sur leurs conceptions initiales, sur ce qu'ils ont appris et sur la manière dont ils l'ont appris, peut leur donner un aperçu de la manière dont la science fonctionne. Non seulement les enseignants comprendront mieux la démarche d'investigation en l'expérimentant, mais le type d'apprentissage des enseignants au cours de leur formation devrait être conforme à celui que l'on veut mettre en œuvre dans la classe ; sinon, les messages communiqués sont incohérents. **Si les enseignants se contentent de suivre des instructions pendant leur formation, il n'est pas étonnant que, par la suite, ils apprennent uniquement à leurs élèves à suivre des instructions, ce qui a pour conséquence d'inhiber la véritable démarche d'investigation.**

Bien entendu, il est impossible, lors d'un stage de formation, de couvrir tous les sujets, et il faut donc envisager d'autres sources d'informations qui soient utilisables par les enseignants. Ainsi, les dispositifs mis en place pour l'ESFI dans différents pays proposent des textes scientifiques dans les guides pour les enseignants, établissent des contacts avec des scientifiques par courriel, assurent un lien entre étudiants en science à l'université et écoles, et créent des sites internet interactifs. Grâce à ce soutien, grâce aussi à la confiance qu'a instaurée un programme approfondi d'activités en classe, les inquiétudes des enseignants concernant les connaissances de base sont réduites au minimum, et il est alors possible de se focaliser sur la question de savoir comment utiliser le matériel scolaire disponible et l'adapter au contexte local.

Les enseignants ont besoin de comprendre non seulement les principes de la démarche d'investigation, mais également la manière dont les élèves apprennent et développent leurs idées. Ils sont alors en mesure de découvrir où en sont les élèves dans leur évolution pour développer de « grandes » idées et acquérir des savoir-faire; de ce fait, ils peuvent les aider à aborder les étapes suivantes. C'est là l'essence même de l'évaluation formative, un processus continu dans lequel une approche informée des idées et des compétences des élèves permet d'éclairer le processus l'enseignement en cours, et favorise chez les élèves un apprentissage actif. L'évaluation formative est également importante pour permettre aux élèves de s'approprier des connaissances, ce qui constitue un aspect fondamental de l'ESFI. L'appropriation des connaissances implique que les élèves connaissent les objectifs du travail qui leur est proposé, ainsi que les critères qualitatifs leur permettant d'évaluer eux-mêmes où ils en sont par rapport à ces objectifs. Ceci les place dans une situation où ils peuvent, avec l'aide de leurs enseignants, identifier les étapes suivantes de leur apprentissage et prendre une certaine responsabilité dans leur progression vers les objectifs fixés.

Conclusions sur le contenu et les objectifs

Les programmes de formation professionnelle des enseignants sur l'ESFI devraient permettre aux enseignants d(e)'

- développer une conception de l'investigation active par une expérience directe, un travail coopératif en groupe et l'étude d'exemples significatifs ;
- expérimenter à leur propre niveau l'utilisation de la démarche d'investigation, et mener différentes formes d'investigation ;
- développer leur propre corpus de connaissances par l'investigation et par l'accès à des sources écrites et électroniques ainsi qu'à des scientifiques ;
- acquérir une compréhension profonde de la manière dont l'apprentissage s'effectue et de leur rôle dans l'apprentissage des élèves par l'investigation ;
- savoir comment gérer les questions des enfants et être à l'aise avec le fait de ne pas connaître les réponses à toutes leurs questions ;
- utiliser l'environnement pour relier la science aux autres sujets, pour rendre les activités pertinentes par rapport au quotidien des enfants et, le cas échéant, pour réunir connaissances scientifiques et savoirs empiriques.
- développer l'utilisation de l'évaluation formative et de leur propre appréciation des progrès des élèves en matière de savoir-faire, d'attitudes et de concepts scientifiques.

Structure et outils

Lorsque les enseignants apprennent à utiliser une pédagogie et du matériel nouveaux, leurs besoins sont semblables à ceux de tous les débutants, en particulier celui de communiquer avec d'autres, d'avoir des retours de leur part, et de disposer de temps pour réfléchir. Ces besoins seront plus facilement satisfaits, et les enseignants s'approprient plus facilement les connaissances, si les séances de formation ont lieu par intermittence (sur une période donnée), avec, entre les séances, la possibilité pour les professeurs de mettre en pratique dans leurs propres classes ce qu'ils ont appris et de partager ensuite leurs expériences. L'expérience acquise dans une série de projets visant à changer la pédagogie permet de penser que cette façon de former les enseignants produit de meilleurs résultats que si l'on concentre les séances dans un cours laps de temps. Il n'est pas facile de déterminer combien de temps, au total, doit durer la formation des enseignants pour être efficace. Mais les recherches conduites aux États-Unis indiquent qu'un minimum de 80 heures est nécessaire pour que les enseignants mettent régulièrement en œuvre un enseignement fondé sur l'investigation.

La conception actuelle de l'apprentissage des enfants ou des adultes souligne l'importance que revêtent, pour le développement de la compréhension, le fait de communiquer, de partager des expériences, de faire

partie d'un groupe d'apprenants. De telles expériences devraient être prévues dans le cadre de la formation professionnelle des enseignants, et non laissées au hasard. On peut communiquer par écrit, sous forme de vidéos ou d'enregistrements audio... Des études de cas, décrivant la manière dont s'y sont pris des écoles ou des groupes scolaires pour mettre les projets en oeuvre et surmonter les problèmes qu'ils ont rencontrés, sont particulièrement utiles. Par exemple, la façon dont une école mal équipée pour entreprendre un travail d'investigation a réussi à mobiliser des parents pour fournir, et parfois fabriquer, de simples bacs et du matériel destiné à mesurer, observer, et faire pousser des graines peut donner des idées à d'autres écoles soumises aux mêmes contraintes. Les directeurs d'écoles peuvent aussi profiter de l'expérience des autres : par exemple, comment ménager le temps nécessaire pour que les enseignants se rencontrent, planifient les séances, réfléchissent à leur sujet. Au niveau de la classe, des comptes-rendus de la façon dont se sont déroulées des activités qui nécessitent une surveillance étroite du travail de groupe, ou de la façon d'accueillir des élèves de niveaux très différents au sein d'une même classe, peuvent aider d'autres enseignants à éviter d'être submergés par les demandes d'aide lors de ces activités. Décrire les changements qui surviennent dans une classe ou une école est non seulement utile en soi, mais permet aussi aux enseignants d'apprendre les uns des autres.

Conclusions sur la structure et les outils

La formation professionnelle des enseignants pour l'ESFI devrait

- combiner des sessions de formation intensive (durant par exemple 2 ou 3 jours) à une formation continuée en séances courtes ;
- prendre en considération la situation et les convictions initiales des enseignants qui font l'apprentissage de la démarche d'investigation, puis identifier les différents stades d'acquisition de la maîtrise - débutant, compétent, expert - pour en tenir compte pendant la formation des enseignants ;
- s'appuyer sur la diversité des contextes dans lesquels les enseignants apprennent : apprentissages formel ou informel, au sein de la classe ou à l'extérieur, par l'intermédiaire de pairs et de conseillers pédagogiques, par leur implication dans l'élaboration de ressources concernant l'apprentissage ou l'enseignement, ou leur examen critique ;
- utiliser la technologie pour donner des exemples et contribuer à l'évaluation des pratiques des enseignants ;
- réserver du temps dans la formation pour favoriser la collaboration et les échanges informels entre enseignants ;
- permettre l'intervention d'un pair (ou d'un conseiller pédagogique) dans la classe, en précisant de façon claire les rôles de l'enseignant et de l'accompagnateur.

Étendre et soutenir le changement

À très petite échelle, le travail peut sembler facile. Cependant, il est important de ne pas ignorer l'enthousiasme des enseignants engagés dans le projet pilote, qui fait de ce dernier un succès. L'ignorer serait sous-estimer la difficulté d'atteindre le même degré de compréhension et d'enthousiasme chez un grand nombre d'enseignants. Il est peu probable que des enseignants qui ont « entendu parler » d'une initiative, sans bénéficier de la *participation à l'innovation* caractéristique du projet pilote, adoptent les changements proposés avec le même entrain. **Une approche « descendante » est inappropriée pour changer les pratiques au sein de la classe, car il est important de favoriser la compréhension et l'appropriation des connaissances.** Toutefois, au-delà de la phase de mise au point, quand il s'agit de toucher de très nombreux enseignants, il faut trouver un moyen de faire monter en puissance la formation professionnelle.

L'expérience acquise en matière de changement dans l'enseignement - que ce soit dans le parcours scolaire, la pédagogie, l'évaluation ou l'organisation et la direction de l'école, les champs sont nombreux - montre que la participation à l'élaboration de nouvelles procédures ou ressources est un moyen très efficace d'encourager les enseignants à s'engager et à changer. Les enseignants impliqués dès les premiers stades du développement des idées dans des activités réalisables en classe participent à la création des ressources et, de ce fait, comprennent et assimilent ces nouvelles pratiques en profondeur. Il n'est pas possible, dans ces efforts de dissémination à grande échelle, d'impliquer tous les enseignants dans cette démarche « ascendante », mais cela donne une idée des types d'expériences susceptibles d'être efficaces.

Certaines approches, répertoriées comme *modèles transmissifs*, s'efforcent de faire en sorte que les ressources et les messages ne soient pas déformés lorsqu'ils passent des concepteurs aux formateurs, puis des formateurs aux enseignants. Les ressources sont souvent conçues pour les formateurs, afin de réduire autant que possible la « dilution » du message. L'utilisation de documents complémentaires sur CD-ROMs, ou trouvés sur internet, fait communément partie de tels dispositifs ; ils aident à s'assurer que le contenu transmis reste plus ou moins inaltéré. Mais dans le même temps, cela peut aussi impliquer que ces documents ne correspondront pas forcément aux différents besoins. D'autres approches, répertoriées comme *modèles de transformation*, reconnaissent, beaucoup plus que ne le font les modèles transmissifs, la complexité du changement et, en particulier, la nécessité de savoir d'où partent les enseignants et les écoles. Ces approches permettent aux enseignants de mieux contrôler ce qu'on leur propose de faire, de lui donner du sens par la réflexion, de le partager avec d'autres, jusqu'à ce qu'ils s'approprient les nouveaux processus et les nouvelles conceptions.

Pour chacune de ces approches, des formateurs bien formés sont nécessaires. Dans la plupart des pays qui s'efforcent de mettre en place l'ESFI, universitaires et personnels expérimentés de l'école primaire ne manquent pas pour participer à l'élaboration de stratégies, d'activités en classe et de ressources, le tout développé à une échelle réduite. Cependant, pour passer à l'échelle supérieure, il y a le plus souvent pénurie de personnel doté des compétences nécessaires pour former les enseignants à la démarche d'investigation. Ce problème risque de compromettre un changement à grande échelle, tel qu'il serait nécessaire pour contribuer au développement de la culture scientifique et d'un apprentissage à long terme. Une solution consisterait à encourager les enseignants, par des incitations financières ou des possibilités de promotion, à entreprendre une formation de formateurs d'enseignants. La mise en place de centres locaux ou régionaux pouvant faire office de foyers de formation, pour faciliter les rencontres ainsi que la diffusion de matériels et de ressources,

pourrait alléger la charge qui pèse sur le centre. En situant ces foyers dans des institutions de formation initiale des enseignants, on ferait un pas important dans le sens de dans l'introduction de l'ESFI dès la formation initiale des enseignants, ce qui apparaît nécessaire pour l'implanter durablement à l'échelle de tout le pays.

Des écoles plus éloignées pourraient être associées avec l'aide des technologies de l'information et de la communication et la mise en ligne sur internet de ressources pour la formation continuée, conçues pour un apprentissage actif et collaboratif.

Conclusions sur l'extension et le soutien du changement

Les procédures engagées en vue d'une diffusion à large échelle et pour la mise en oeuvre de l'ESFI devraient

- reconnaître que du temps et des ressources considérables sont nécessaires pour encourager le changement à grande échelle et avancer de façon progressive, tout en assurant un ancrage solide à chaque étape ;
- créer, à partir du centre initial, des noyaux locaux (universités, institutions) qui deviendront des centres de formation professionnelle capables de tenir compte des conditions locales ;
- identifier les centres exemplaires, pour prouver l'efficacité des stratégies d'extension ;
- s'assurer de l'engagement d'universités ou d'autres institutions où former les enseignants de l'école primaire ;
- prendre des mesures pour convaincre les collectivités locales et territoriales et leurs responsables, ainsi que les bailleurs de fonds publics et privés, de l'importance de diffuser l'ESFI, et du prix à payer pour la société dans le cas contraire ;
- former les formateurs, et leur fournir, ainsi qu'aux conseillers pédagogiques qui interviennent dans les classes, des perspectives de carrières et les primes qui leur sont dues ;
- fournir aux formateurs de bons exemples de formation continuée, comprenant des explications sur le pourquoi des contenus, des outils, etc. ;
- passer d'une approche transmissive, qui peut être un bon point de départ dans beaucoup de cas, à une approche visant la transformation des enseignants lorsqu'ils s'approprient les principes de l'ESFI ;
- utiliser les technologies de l'information pour garantir l'accès à la formation continuée et un soutien aux communes éloignées.

Évaluation

La formation professionnelle des enseignants est un élément du programme de l'ESFI, les autres étant les ressources mises à disposition, les guides pour les enseignants, les cahiers d'expériences des élèves, etc. Il est donc difficile, sinon impossible, de distinguer, parmi les effets perceptibles chez les élèves, ce qui tient à la formation des enseignants de ce qui relève d'autres éléments du programme, de l'influence des expériences

vécues à l'extérieur de l'école, à travers les médias ou à la maison. C'est pourquoi il est difficile de trouver des preuves du « succès » de l'ESFI, particulièrement si la mesure tient compte de la réussite des élèves, sur lesquels elle n'agit qu'indirectement. Mais le but d'une évaluation n'est pas nécessairement de juger du succès (*évaluation sommative*) ; il peut aussi s'agir de mesurer les progrès accomplis (*évaluation formative*). Actuellement, peu de programmes ESFI ont atteint le stade du recueil des données pour l'évaluation sommative, qui peuvent renseigner sur le succès de la formation dispensée aux enseignants, au-delà des impressions de ces enseignants eux-mêmes.

Il est important de ne pas se précipiter pour poser des questions de nature sommative : on risque alors de les poser trop tôt, avant que la formation continuée n'ait porté ses fruits et qu'elle ait laissé aux enseignants le temps d'infléchir significativement leur pratique, comme l'exige l'ESFI. Le meilleur objectif d'une évaluation est de recueillir des informations qui peuvent, à leur tour, être utilisées pour améliorer le programme de formation professionnelle. Pour cette évaluation formative, les informations pertinentes comprendraient par exemple les réponses aux questions suivantes:

- Comment le programme de formation professionnelle permet-il aux enseignants d'élaborer leur vision de la nature de la science et de l'activité scientifique ?
- Comment aide-t-on les enseignants à comprendre la signification de l'ESFI, et en quoi celui-ci diffère-t-il de l'enseignement magistral plus classique ?
- S'il est prévu de donner aux enseignants l'occasion de tester des activités fondées sur l'investigation, peuvent-ils en comprendre les principes sous-jacents et les appliquer à d'autres sujets ?
- Comment les expériences sont-elles adaptées pour correspondre aux besoins des enseignants à différents stades de compétences dans la pratique de l'ESFI ?

Conclusions sur l'évaluation

L'évaluation des programmes de formation professionnelle devrait :

- être conçue selon un objectif précis, qui peut consister à
 - justifier les ressources et les fonds utilisés pour la formation professionnelle,
 - améliorer l'expérience de l'apprentissage chez l'enseignant (*évaluation formative*),
 - comparer l'efficacité de différentes conceptions, approches et composantes de la formation professionnelle pour l'ESFI ;
- avoir pour objectif d'identifier les expériences que les enseignants apprécient et celles qu'ils trouvent les plus efficaces;
- inclure tous les types de formation que les enseignants connaissent;
- utiliser plutôt l'évolution des enseignants que celle des élèves comme mesures/indicateurs ;
- encourager parallèlement les recherches utilisant des échantillons plus soigneusement définis pour compléter l'évaluation.

Mettre l'ESFI en pratique est à la fois essentiel et difficile, pour les raisons énumérées dans ce document. L'expérience montre que cela nécessite la compréhension et le soutien de nombreux acteurs qui contribuent à l'éducation des enfants : enseignants et autres personnels des écoles, parents, collectivités locales, concepteurs des programmes scolaires, formateurs d'enseignants, corps enseignant des universités et, surtout, décideurs. Il est essentiel que les politiques nationales et régionales concernant les programmes scolaires, les évaluations et la formation des enseignants soutiennent la mise en œuvre de l'ESFI, ainsi que le développement d'une culture scientifique et d'un apprentissage continu que la vie dans le monde moderne exige de ses citoyens. Ceci conduit à formuler les recommandations suivantes :

En rapport avec l'importance de l'ESFI

1. La promotion de l'ESFI, en particulier à l'école primaire, devrait être poursuivie par :
 - la publication de courts rapports destinés aux ministères en charge de l'éducation, identifiant les bienfaits de l'ESFI et les inconvénients qu'il y aurait à ne pas la mettre en œuvre dans les écoles primaire et secondaire ;
 - le renforcement du consensus international sur l'importance de l'ESFI ;
 - la synthèse de recherches portant sur les résultats de l'ESFI ;
 - la publication de rapports sur les évaluations des programmes ESFI ;
 - l'usage de l'informatique et des médias pour expliquer et présenter l'ESFI dans la pratique.

En rapport avec la formation professionnelle des enseignants

2. L'IAP devrait faire en sorte que le contenu de ce document fasse l'objet de publications en plusieurs langues et d'une diffusion dans tous les pays, y compris ceux qui ne possèdent pas d'académies.
3. Des mesures devraient être prises pour assurer la participation des universités, des ministères, des organismes de financement, des associations professionnelles, des syndicats d'enseignants et d'autres organismes susceptibles de stimuler les décideurs de chaque pays.
4. Il devrait y avoir une coopération internationale pour développer et partager :
 - des exemples de programmes de formation professionnelle sur l'ESFI pour les enseignants de l'école primaire ;
 - des ressources pour les enseignants et pour les formateurs, adaptables aux différents contextes et programmes ESFI ;
 - des procédures, critères et instruments d'évaluation de la formation professionnelle.
5. Il faudrait monter des ateliers internationaux portant sur les activités de formation professionnelle afin de favoriser une vision commune du contenu et des procédures.
6. Les conclusions des évaluations de programmes de formation professionnelle devraient être publiées et largement diffusées.
7. Les recherches associées devraient inclure une recension des recherches sur l'apprentissage des enseignants et des études visant à identifier, pour les enseignants d'école primaire, des approches efficaces de la formation professionnelle en lien avec l'ESFI.

References

ASTEP (2007) *L'accompagnement en science et technologie à l'école primaire. Supporting Teachers Through the Involvement of Scientists in Primary Education*. Paris : Académie des Sciences.

Commission européenne (2007) *Science Education Now. A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Bruxelles : EC Directorate for Research (Science, Economy and Society) (Rocard Report).

Harlen, W. (2008) Science as a key component of the primary curriculum: a rationale with policy implications. *Perspectives on Education 1* (Primary Science) 4-18 <www.wellcome.ac/perspectives>

Hattie, J. (2003) *Teachers makes a difference: what is the research evidence?* Australian Council for Educational Research Annual Conference on Building Teacher Quality.

IAP (2006) *Report of the Working Group on International Collaboration in the Evaluation of Inquiry-Based Science (IBSE) Programs*. Santiago, Chili : Fundacion para Estudios Biomedicos Avanzados de la Facultad de Medicina.

Léna, P. (2009) *La science pour tous : illusion ou nécessité ? L'enseignement des sciences et de la technologie en Haute-Garonne*, B.I. n° 92, février 2009.

National Science Foundation (NSF) (1997) *The Challenge and Promise of K-8 Science Education Reform. Foundations 2*. Arlington, VA : NSF.

OECD (1999) *Measuring Student Knowledge and Skills*. OECD Program for International Student Assessment (PISA). Paris : OECD.

Sarmant, J-P, Saltiel, E. (2001) Réussir la rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école, *L'enseignement des sciences et de la technologie à l'école*, MEN, CRDP Grenoble.

INQUIRY-BASED SCIENCE EDUCATION: PREPARING THE TEACHERS



This document is published with the support of :
The InterAcademyPanel (IAP), Académie des sciences (France),
and the Wellcome Trust (UK).

Directors of publication

Wynne Harlen et Jorge E.Allende

Working group members

Jorge Allende, Wynne Harlen, Pierre Léna, Jose Lozano, Yves Quéré, Jayashree Ramadas, Senta Raizen, Pat Rowell, Dietrich Schiel, Soon Ting Kueh

Sponsors

InterAcademyPanel (IAP)
Académie des sciences
Ministerio de Educación de Chile
Academia Chilena de Ciencias
Fundación para Estudios Biomédicos Avanzados
Facultad de Medicina

Design and layout

Brice Goineau

Printing

The InterAcademy Panel on International Issues (IAP), which brings together the Academies of Sciences in all regions of the world, has given priority to the topic of improving the science education of children throughout the world. The IAP Science Education Program, co-ordinated by Professor Jorge Allende at the Chilean Academy of Sciences, identified inquiry-based science education (IBSE) as a key element in enabling children to understand basic scientific ideas and procedures and sharing the values of science.

Beginning in 2005 the IAP has held various international workshops on the evaluation of the implementation of IBSE programs and in 2006 published a Report of the Working Group on International Collaboration in the Evaluation of IBSE Programs. This on-going work revealed the importance of professional development of teachers and in 2007 planning began for an International Conference on Teacher Professional Development in Pre-Secondary School IBSE, which took place in Santiago, Chile, 20-22 October 2008. The Conference was sponsored by the IANAS, the Organization of the American States Inter American Program on Science Education, the Chilean Ministry of Education, the Chilean Academy of Sciences, the University of Chile and the Wellcome Trust.

A recommendation of the conference was that there should be a short publication for circulation to a range of authorities, particularly of ministries of education, identifying the benefits of IBSE and the disadvantages of not pursuing it throughout primary and secondary education. This publication was prepared for that purpose by Wynne Harlen. The full Report of the Conference, which includes a revision of the background paper produced for the Conference, the outcomes of the discussions and the conclusions and recommendations agreed by the conference participants can be found on the IAP Web Site .

<www.interacademies.net/CMS/Programmes/3123.aspx>

Introduction

There is concern in countries across the globe to renew science education so as to reverse the decline in interest of young people in science and to develop in all future citizens the scientific literacy they need to function responsibly in an increasingly scientific and technological world. It is recognised⁽¹⁾ that a key element in the improvement of science and technology education⁽²⁾ is a change in pedagogy towards active learning through inquiry and away from passive text-based teaching. Such a change requires the provision of well-designed teacher professional development (PD) on a large scale. This document summarises the rationale for inquiry-based science education (IBSE) at the pre-secondary level and discusses the aims, challenges, content and processes of providing the PD crucial for achieving the aims of scientific literacy and continued learning for all.

Why we need inquiry-based science education (IBSE) ?

There is universal recognition that the pace of change in the world today requires a constant review of what is effective education, particularly in science and technology. In the words of the OECD 'Students cannot learn everything they will need to know in adult life. What they must acquire is the prerequisites for successful learning in future life.'⁽³⁾ Thus education in science should aim to provide students with:

1. *A grasp of the big ideas that enable learners to understand aspects of the world around them, both natural and those created through application of science.*

This benefits not only the individual in helping their personal choices affecting their health, enjoyment of the environment and their choice of career, but equally benefits society through individuals making more informed choices that avoid, for instance, waste of energy and resources, pollution and the consequences of poor diet and abuse of drugs.

2. *A basic understanding of what science is, how it works and what are its strengths and limitations.*

Understanding that evidence is central to scientific activity enables learners to realise that the theories and principles used to explain phenomena may have to be changed or abandoned when new conflicting evidence is found. Valuing evidence gathered in a scientific way is central to avoiding the influence of the pseudo-science often offered in advertisements and media reports.

3. *Skills for communicating experiences and ideas in science*

Developing the linguistic and representational skills needed for effective expression of thoughts and ideas in science is important in making sense of new experiences and in convincing others (through argumentation and justification) of constructed explanations. Learners also need to develop the vocabulary and knowledge of conventions that enable them to share and develop ideas through discourse with others and through writing and reading.

⁽¹⁾ EC 2007; IAP 2006

⁽²⁾ In the rest of this document the term science education is understood to include technology education.

⁽³⁾ OECD 1999:9

4. Ability to continue learning.

Developing concepts, skills, attitudes, knowledge and understanding is regarded as more important than accumulating large amounts of factual knowledge. Content knowledge can be found readily from the information sources widely available through the use of computers and especially the internet. What are needed are the skills to access these sources and the understanding to select what is relevant and to make sense of it.

The first three of these aims are summed up in the notion of developing scientific literacy. In this context, 'literacy' means being able to engage effectively with different aspects of modern life, having the knowledge and skills that are needed by everyone, not just those who will be specialists, or will make a career using knowledge, in some area of science. It means being comfortable and competent with the key broad (or 'big') scientific ideas, with the nature and limitations of science, with the processes of science and having the capacity to use these ideas in making decisions as an informed and concerned citizens.

The role of inquiry skills

Building 'big' ideas must take into account how children learn. Real understanding depends on the active participation of learners. Research over the past half century has shown that children form ideas about the scientific aspects of the world around them whether or not they are taught science, and that some of these ideas are non-scientific. The role of the teacher is to provide students with the experiences, evidence and reasoning skills that will enable them to construct *scientific* ideas. The construction has to be through the students' own thinking if the ideas are to be understood. The process is one in which existing ideas are tested by making predictions, by gathering, analysing and interpreting new data to test the validity of the predictions and communicating results. **Understanding built through this activity depends crucially on the inquiry skills used - on how predictions are made, what evidence is collected and how it is interpreted. These are the inquiry skills which characterise scientific activity.** This relationship between ways of thinking and ideas is embodied in a definition of inquiry as a process in which learners

build their understanding of fundamental scientific ideas through direct experience with materials, by consulting books, other resources, and experts, and through argument and debate among themselves. All this takes place under the leadership of the classroom teacher⁽⁴⁾.

Although not all learning in science need involve inquiry – learning names, conventions and the basic skills of using equipment is more efficient through direct instruction as and when needed – it is important to ensure it is used when *understanding* is the aim.

Why start in early education ?

The points above refer to science education at any stage, but there are particular reasons for starting science and using an inquiry-based approach at pre-school and primary level. Young children's natural curiosity can readily be used and reinforced in exploring and learning about their immediate environment.

⁽⁴⁾ NSF, 1997:7

This is the beginning of the development of their scientific understanding. The 'big' ideas of science (so called because they explain a range of related phenomena) cannot be taught directly; they are necessarily highly abstract and indeed meaningless if they do not evoke the many real situations which they link together. They have to be created from 'small' ideas, developed through understanding specific events familiar to the children. For example, if children develop, through investigation and observation, an understanding that there is interdependence among plants and animals in their own environment - their back garden, the park, the stream or the hedgerow - they may eventually understand the reasons for protecting the rain forests. But if the big issues relating to conservation are the starting points, they may be understood at no greater depth than slogans and the relationships never more than superficially grasped.

In addition, research evidence supports the following claims:

- Primary school science challenges children's intuitive non-scientific ideas which, if left unchecked, can interfere with later learning in science.
- Children's experience of undertaking scientific inquiry can develop appreciation of how science works, of the power and the limitations of science, as well as the enjoyment of finding out through scientific activity.
- Science can help understanding of scientific aspects of their daily that affect their health and safety during the primary years and have wider implications for their and others' future lives through longer-term effects on the environment.
- Scientific activity and learning about the people and history of science support appreciation of science as an important human endeavour in which reliable knowledge is built up through the systematic collection and use of evidence.
- Involvement in scientific activity leads to the recognition of the importance of reasoning about evidence, which is needed for future learning in science and beyond.⁽⁵⁾

Implications

The change from traditional text-based and fact-based science teaching to inquiry-based science teaching has enormous implications for curriculum development, for teacher education, for the provision of classroom resources, including classroom assistants, and for the assessment of learning. The aims of modern education and of inquiry-based education in particular require students to become more independent learners. This means teachers developing new relationships with students and having the confidence to allow students to develop their own ideas⁽⁶⁾. **Confidence and understanding play a large part in determining whether teachers provide students with the experiences that enable them to develop understanding of the world around them through inquiry.**

⁽⁵⁾ Harlen, 2008: 15.

⁽⁶⁾ What this means for the activities of students and the role of teachers is spelled out in The IAP Report of the Working Group on International Collaboration in the Evaluation of Inquiry-Based Science Education Programs. (2006).

IBSE is being introduced in a rapidly increasing number of schools in over 30 countries in all regions of the world; for example in Chile, Colombia, Afghanistan, Estonia, France, Senegal, China, Cambodia, Australia⁽⁷⁾. But implementation is not without problems and it is important to acknowledge the obstacles that there are to making changes in educational practice. Surveys in many countries reveal a common pattern of problems in teaching science through inquiry in pre-secondary schools. Foremost is teachers' grasp of the subject-matter, followed closely by the influence of assessment when this is concerned only with factual knowledge and the need to cover an over-loaded curriculum. Lack of time, resources, space, and assistance are also frequently seen as limiting change in teaching. Many of these factors are beyond the control of teachers, depending on policy changes. Teachers need the support of good classroom materials and resources, but even when these are provided, at the heart of change in students' experiences are the interactions between teachers and students. Evaluations of IBSE implementation and other research outcomes have pointed to the teacher as being the single most important factor affecting student achievement⁽⁸⁾. Hence the *professional development* (PD) of teachers is the focus of this paper.

Changing teaching through professional development

The changes in practice needed for implementing IBSE and achieving the aims of scientific literacy and life-long learning are particularly challenging. In addition to change in pedagogy, teachers need a good grasp of the content to be taught and of the nature of science. Research shows that poor background knowledge of science leads to lack of confidence in teaching science and to over-reliance on text-books and avoidance of hands-on activities, discussion and children's questions. Such practice conflicts with the importance given in current views of learning which emphasise first-hand experience, talk, discussion and argumentation. **Teachers used to teaching science by giving information from a text book need the chance to experience, understand and value inquiry-based learning if they are to develop the confidence and skills to implement new programs effectively.**

Although practising teachers continue to learn in many different ways, not least informally through discussion with peers, it is unlikely that the considerable changes in roles, beliefs and practices needed for IBSE implementation will be acquired through informal routes. Rather, they require some structured opportunities to consider examples and approaches to change. Designing professional development for sustainable change requires attention to :

- *Content and aims* – what topics and kinds of activities are included;
- *Structure and tools* – how the activities are organised;
- *Scaling and sustaining* – how experiences are made available to a large number of teachers;
- *Evaluation* – what and how evidence is collected about the PD activities and how it is used.

⁽⁷⁾ For a more complete list see the IAP report in note 6.

⁽⁸⁾ Hattie, 2003

Content and aims

The content of PD for IBSE must address the key aims of developing confidence in relation to the subject matter and understanding the meaning of learning and teaching through inquiry. Although, as just noted, most primary teachers feel insecure about their understanding of science concepts and consequently lack confidence in teaching, this often arises through assuming that teaching science is about transmitting facts correctly to students. There is no denying that primary teachers need to understand the science, but it is equally important for them to be able to engage students in learning in a way that develops their inquiry skills as well as their scientific ideas. These two aims can be achieved together when a PD program engages teachers in learning science through inquiry at their own level, giving them first hand experience of using inquiry skills as well as understanding of the phenomena they study.

These experiences are not activities for students, and teachers are not asked to play a role, but to become investigators of common phenomena (such as *why* the outside of a can of drink becomes moist when taken out of the fridge) and to learn *through* inquiry. Reflection on their initial understanding, on what more they found out, and how, can lead them to an insight into how science works. Not only will teachers understand inquiry better through experiencing it but the mode of learning of the teachers should be consistent with the intended mode of learning in the classroom; otherwise inconsistent messages are communicated. **If teachers only follow instructions in their training, it is not surprising if they then teach their students only to follow instructions, with the result of inhibiting real inquiry.**

It is not possible to cover all concepts in this way, of course, and so there should be other sources of background information for teachers to use. IBSE programs in various countries do this by, for example, providing sections in teachers' guides on the science content, providing access to scientists by e-mail, linking university science students with schools⁽⁹⁾, setting up interactive websites. With this support and the confidence given by a well-researched program of classroom activities, concerns about background knowledge are minimised and the focus can be on matters of how to use classroom materials and adapt them to the local context.

In addition to understanding the principles of IBSE, teachers need understanding of how students learn and develop ideas. They are then in the position to find out where students are in the progression towards developing 'big' ideas and inquiry skills and help them to take their next steps. This is the essence of formative assessment, a continuing process in which information about students' ideas and skills informs on-going teaching and helps learners' active engagement in learning. Formative assessment is also central to enabling students to acquire ownership of their learning, one of the key aspects of IBSE. Ownership requires that students know the goals of their work and the quality criteria to be applied so that they can themselves assess where they are in relation to the goals. This puts them in a position to identify, with their teachers, the next steps in their learning and to take some responsibility for progress towards the goals.

⁽⁹⁾ For example, the ASTEP project in France

Conclusions about content and aims

Professional development programs in IBSE should enable teachers to

- develop a vision of effective inquiry in action through first-hand experience, cooperative group work and the study of good examples;
- experience at their own level using inquiry skills and conducting different forms of inquiry;
- develop their own content knowledge through inquiry and through access to written and on-line sources and to scientists;
- acquire a deep understanding of how learning takes place and of their role in students' learning through inquiry;
- know how to 'handle' children's questions and to be comfortable with not knowing the answers to all their questions;
- use their environment, to connect science to other subjects, to make activities relevant to children's lives and, as appropriate, to blend scientific knowledge with indigenous knowledge;
- develop the use of formative assessment and the use of their own assessment of students' progress in scientific skills, concepts and attitudes.

Structure and tools

When teachers are learning to use new materials and pedagogy, their needs are similar to those of any learners, particularly the need to communicate with and have feedback from others and to have time for reflection. These are more likely to be provided, and teachers develop ownership of their learning, when professional development sessions take place intermittently over a period of time, with opportunities between sessions for teachers to practise what they have learned in their own classrooms and to share experiences with others. Current practice in a range of projects aimed at changing pedagogy suggests that providing professional development in this way is more effective than concentrating the activities in a short space of time. **The overall duration that is needed for PD to be effective is not a matter that is easily decided, but research and practice suggest that a minimum of 80 hours is needed for teachers to use inquiry-based practices securely.**

Current views of learning, whether by young children or adults, emphasise the importance of communication, sharing experiences and participation in a community of learners in the development of understanding. Such experiences should be planned as part of PD programs, not left to chance. Some communication can be in writing or in the form of video or audio recordings. Case studies describing how particular schools or school districts have managed the process of implementation and overcome problems are particularly useful.

How a school with poor access to equipment and materials for investigative work has managed to mobilise parents to supply, and in some cases to make, simple containers and equipment for measuring, observing, and growing things, can inspire others with similar constraints. School managers can also learn from others' experience of how to make time available for teachers to meet to plan lessons and reflect on them. At the classroom level, accounts of how activities which require close supervision of group work have been handled, or how to cater for a range of ability within a class, can help others to avoid becoming overwhelmed by demands for help during these activities. The act of describing the process of change in a school or class is useful in itself as well as enabling teachers to learn from the practice of others.

Conclusions about structure and tools

Professional development in IBSE should:

- combine concentrated PD experience (e.g. of 2 or 3 consecutive days) with continuous shorter follow up experiences;
- allow for the different starting points and initial beliefs of teachers as learners in IBSE practice and recognize and cater for the different stages in the development of expertise (novice, competent, expert) as teachers learn;
- take advantage of the range of contexts in which teachers learn - formal and informal, inside and outside the classroom, from peers and advisors and from involvement in development or critical review of teaching and learning materials;
- use technology to provide examples and to support evaluation of teachers' practice;
- build into PD experiences time for collaboration and informal interaction among teachers;
- provide some peer (or monitor/advisor) support in the classroom, based on clearly defined roles for teacher and supporter.

Scaling and sustaining change

In small scale pilot work change may seem deceptively easy. However, to ignore the importance of the often enthusiastic engagement of teachers which makes the pilot development successful would be to underestimate the difficulty of reaching the same level of understanding and enthusiasm in a large number of teachers. Teachers 'being told' about an initiative, without the participation in innovation that was a feature of the pilot, are not likely to adopt the changes with the same commitment. **A 'top down' approach, necessary for policy change, is not as appropriate for change in classroom practice, where developing understanding and ownership is important.** However, beyond the development phase, when the aim is to reach large numbers of teachers, some way of scaling up the PD must be found.

Experience in many areas of change in education, be it in the curriculum, pedagogy, assessment or school organisation and management, is that participation in developing new procedures or materials is a most effective way of encouraging commitment to change. Teachers involved in the early stages of developing ideas into viable classroom activities take part in decisions about the materials being created and in so doing acquire understanding and ownership of new practices. Whilst it is not possible in large-scale dissemination efforts to involve all teachers in this 'bottom-up' approach, it does indicate the kinds of experiences that are likely to be effective.

Some approaches to scaling up, known as transmission models, attempt to ensure that the materials and messages pass unaltered from developers to trainers to teachers. Materials are often provided for trainers so that the 'dilution' of the message is minimised. The use of illustrative material on CD-Roms, or provided through the internet, is commonly part of such packages. These help to ensure that the message is transmitted more or less unaltered. At the same time, however, it is likely to mean that there may be a poorer match to different needs. Other approaches, known as transformation models, acknowledge to a far greater extent than transmission models, the complexity of change and particularly the need to consider where teachers and schools begin. They allow teachers to take more control of what they are asked to do, to make sense of it through reflection, share it with others, until new ideas and processes become internalised.

For either of these approaches, trained trainers are required. In most countries endeavouring to embed IBSE there is no shortage of university tutors and experienced school personnel to take part in the development of strategies, classroom activities and materials and in small scale pilot trials. For wider dissemination, however, there is a general shortage of personnel with the necessary range of expertise to conduct PD in IBSE. This problem threatens to prevent change on the scale that is really needed for IBSE to make its contribution to widespread scientific literacy and continued learning. One answer may be to provide incentives, financial or in the form of credits towards a higher qualification, for undertaking training to become a PD provider. Setting up regional or district centres that can act as foci of learning communities, for meetings and the distribution of materials and resources would ease the burden on the centre. Basing these foci in institutions for initial teacher education can be an important step to including IBSE in pre-service teacher training, which is clearly necessary for embedding IBSE in practice nation-wide. More far-flung schools may be reached by using ICT and on-line PD materials designed for active and collaborative learning.

Conclusions about scaling and sustaining change

Procedures for large-scale dissemination and implementation should

- recognise the considerable amount time and resources needed for supporting change on a large scale and proceed steadily, ensuring sound implementation at each step;
- create from the originating centre local nuclei (universities, institutions) which then become centres for PD that can take local circumstances into account;
- identify exemplary operating centres to demonstrate effective scaling strategies;
- ensure the involvement of universities or other institutions where pre-secondary teachers are trained;
- take active steps to communicate to the community and community leaders and to public and private funders of PD the importance of disseminating IBSE and the cost to society of not doing so;
- train trainers and provide some career paths and due rewards for trainers and those who support teachers in classrooms;
- provide trainers with good examples of PD in action with commentary on the rationale for the content, tools, etc;
- move from a transmission approach, which may be a good starting approach in many cases, towards one aiming for transformation of teachers as they take ownership of the principles of IBSE;
- use information technology to provide access to PD and support for remote communities.

Evaluation

Professional development is one element in an IBSE program, others being the classroom materials provided for students, the teachers' guides, students' notebooks, etc. Thus it is difficult, if not impossible, to separate the effect on students of PD from that of these other elements of the program and also from the influence of out of school experiences through the media and at home. So evidence of 'success' of PD is hard to obtain, particularly if the measure is taken to be change in students' achievement, on which it impacts only very indirectly. But the purpose of evaluation is not necessarily to judge success (summative evaluation); it can also be to improve (formative evaluation). Few of the current IBSE programs have reached the stage of collecting summative evaluation data about the success of the PD they provide, beyond the impressions of teachers involved.

It is important not to rush into asking summative questions too soon, before there has been chance for the PD to have an effect and allow time for teachers to make the considerable shift in their practice that IBSE is likely to require. The most appropriate purpose of evaluation is to collect information that can be fed back into the design of the PD program. For this formative evaluation the relevant information would include for example :

- How the PD program enables teachers to develop their view of the nature of science and scientific activity.
- How teachers are helped to understand the meaning of IBSE and how it differs from text-based teaching.
- Whether opportunities are provided for teachers to try out inquiry-based activities, understand the underlying principles and apply them to other topics.
- How the experiences are adapted to match the needs of teachers at different stages of competence in IBSE.

Conclusions about evaluation

Evaluation of PD programs should

- be designed with a clear purpose in mind, which may be
 - to justify resources and the funding used in providing PD,
 - to improve the learning experiences of teachers (formative),
 - to compare the effectiveness of different designs, approaches and components of PD in IBSE (summative);
- aim to identify the experiences that teachers value and find most effective in their journey;
- include all the forms of PD that teachers experience;
- use change in teachers rather than in students as outcome measures/indicators;
- encourage associated research studies using more carefully defined samples to supplement the evaluation.

Putting IBSE into practice is both essential and difficult, for reasons summarised in this document. Experience shows that it requires the understanding and support of the many parties with interest and influence in children's education, including teachers and others in schools, parents, local communities, curriculum developers, teacher trainers, university faculty and, most importantly, policy-makers. It is essential that national and regional policies about the curriculum, assessment and teacher education support IBSE implementation, and thus the development of scientific literacy and continued learning that life in the modern world requires of its citizens. This leads us to the following recommendations for action.

In relation to the importance of IBSE

1. The case for IBSE particularly at the pre-secondary school should continue to be made through:
 - short publications aimed at ministries of education identifying the benefits of IBSE and the disadvantages of not pursuing it throughout primary and secondary education;
 - emphasising the international consensus on the importance of IBSE;
 - summarising research on the outcomes of IBSE;
 - publication of reports of evaluations of IBSE programs;
 - the use of IT and the media to explain and exemplify IBSE in practice.

In relation to the professional development of teachers

2. IAP should arrange the publication of the content of this document in several languages and its distribution to all countries, including those without academies.
3. Action taken to ensure the involvement of universities, ministries, funding agencies, professional associations and teachers' unions and other bodies with the potential to energise policy-makers in each country.
4. There should be international cooperation to develop and share:
 - examples of PD programs in IBSE for pre-secondary school teachers;
 - materials for teachers and for trainers that can be adapted to different contexts and IBSE programs;
 - procedures, criteria and instruments for evaluation of PD.
5. International workshops for PD activities should be mounted to encourage a shared view of content and procedures.
6. The findings of evaluations of PD programs should be published and made widely available.
7. Associated research should include a review of research into teacher learning and studies aimed at identifying effective approaches to PD in IBSE for pre-secondary school teachers.

References

- ASTEP (2007) *L'accompagnement en science et technologie à l'école primaire. Supporting Teachers Through the Involvement of Scientists in Primary Education*. Paris : Académie des Sciences.
- Commission européenne (2007) *Science Education Now. A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Bruxelles : EC Directorate for Research (Science, Economy and Society) (Rocard Report).
- Harlen, W. (2008) Science as a key component of the primary curriculum: a rationale with policy implications. *Perspectives on Education 1* (Primary Science) 4-18 <www.wellcome.ac/perspectives>
- Hattie, J. (2003) *Teachers makes a difference: what is the research evidence?* Australian Council for Educational Research Annual Conference on Building Teacher Quality.
- IAP (2006) *Report of the Working Group on International Collaboration in the Evaluation of Inquiry-Based Science (IBSE) Programs*. Santiago, Chili : Fundacion para Estudios Biomedicos Avanzados de la Facultad de Medicina.
- Léna, P. (2009) *La science pour tous : illusion ou nécessité ? L'enseignement des sciences et de la technologie en Haute-Garonne*, B.I. n° 92, février 2009.
- National Science Foundation (NSF) (1997) *The Challenge and Promise of K-8 Science Education Reform. Foundations 2*. Arlington, VA : NSF.
- OECD (1999) *Measuring Student Knowledge and Skills*. OECD Program for International Student Assessment (PISA). Paris : OECD.
- Sarmant, J-P, Saltiel, E. (2001) Réussir la rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école, *L'enseignement des sciences et de la technologie à l'école*, MEN, CRDP Grenoble.

EDUCACIÓN EN CIENCIAS BASADA EN LA INDAGACIÓN:
PREPARANDO A LOS PROFESORES



La publicación de este documento ha sido posible gracias al apoyo de la Académie des Sciences (Francia), el programa Science Education (IAP) y el Wellcome Trust (Reino Unido).

Editores

Wynne Harlen et Jorge E.Allende

Composición del Grupo de Trabajo

Jorge Allende, Wynne Harlen, Pierre Léna, Jose Lozano, Yves Quéré, Jayashree Ramadas, Senta Raizen, Pat Rowell, Dietrich Schiel, Soon Ting Kueh

Patrocinantes

InterAcademyPanel (IAP)
Académie des sciences
Ministerio de Educación de Chile
Academia Chilena de Ciencias
Fundación para Estudios Biomédicos Avanzados
Facultad de Medicina

Versión española

Leticia Ramirez

Diseño

Brice Goineau

Impresión

El Panel InterAcademia sobre Asuntos Internacionales (IAP), que congrega a las Academias de Ciencias de todas las regiones del mundo, ha decidido priorizar el mejoramiento de la educación en ciencias de los niños a través de todo el mundo. El Programa de Educación en Ciencias del IAP, coordinado por el Profesor Jorge Allende de la Academia de Ciencias Chilena, ha identificado a la educación en ciencias basada en la indagación (ECBI) como un elemento clave que permite a los niños comprender las ideas científicas básicas y compartir los valores de la ciencia así como sus procedimientos.

Desde el año 2005 el IAP ha realizado varios talleres internacionales sobre la evaluación de la implementación de los programas tipo ECBI y en 2006 se publicó el Informe del Grupo de Trabajo sobre Colaboración Internacional en la Evaluación de Programas de Educación en Ciencias Basada en la Indagación. Este trabajo continuo nos reveló la importancia del desarrollo profesional de los profesores y en 2007 se inició la planificación de la Conferencia Internacional sobre Desarrollo Profesional de Pre-Secundaria del ECBI, que se desarrolló entre los días 20 y 22 de Octubre de 2008 en Santiago de Chile. Dicha Conferencia estuvo financiada por IAP/IANAS, por el Programa Interamericano de Educación de la Organización de los Estados Americanos, el Ministerio de Educación chileno, la Academia de Ciencias chilena, la Universidad de Chile y el Wellcome Trust.

Una recomendación de la conferencia fue hacer circular entre un rango de autoridades, particularmente los Ministerios de Educación, una breve publicación que identificara los beneficios del ECBI y las desventajas de no ponerlo en práctica en la educación primaria y secundaria. Wynne Harlen redactó esta publicación con ese fin. El Informe completo de la Conferencia, que incluye una revisión del documento de trabajo preparado para la conferencia, los resultados de las discusiones así como las conclusiones y recomendaciones a las que llegaron los participantes se encuentra disponible en la página Web de la IAP

<www.interacademies.net/CMS/Programmes/3123.aspx>

EDUCACIÓN EN CIENCIAS BASADA EN LA INDAGACIÓN: PREPARANDO A LOS PROFESORES

Introducción

De un lado al otro de nuestro planeta se advierte una preocupación por renovar la educación en ciencias en un intento de revertir el poco interés en ella que tiene la juventud y con esto desarrollar en los ciudadanos del futuro la indispensable alfabetización científica con que podrán reaccionar responsablemente en un mundo cada vez más científico y tecnológico. Se ha reconocido⁽¹⁾ que un elemento clave en el mejoramiento de la educación científico-tecnológica⁽²⁾ es el cambio en la forma de enseñar hacia un aprendizaje activo a través de la indagación, alejándose de la enseñanza tradicional pasiva basada en textos. Un cambio de esta magnitud requiere implementar a gran escala un programa de desarrollo profesional (DP) bien diseñado para profesores. Este documento resume los fundamentos de la enseñanza basada en la indagación (ECBI) a nivel pre-secundario y considera los objetivos, desafíos, contenidos y procesos que proporcionan el DP esencial a los objetivos de alfabetización científica y aprendizaje continuo para todos.

36

ES

Por qué necesitamos una Educación en Ciencias Basada en la Indagación (ECBI)

Existe el reconocimiento universal que la velocidad de los cambios en el mundo requiere una revisión constante de lo que significa una educación efectiva, especialmente en ciencia y tecnología. En las palabras de la OECD 'Los estudiantes no pueden aprender todo lo que necesitarán saber en su vida adulta. Lo que deben adquirir son los prerrequisitos para un aprendizaje exitoso en su vida futura.'⁽³⁾ Por consiguiente la educación en ciencias debe focalizar su esfuerzo en proporcionarles a los estudiantes:

1. *Comprensión de las grandes ideas que les permitan entender aspectos del mundo que los rodea, tanto naturales como creados a través de la aplicación de la ciencia.*

Esto no sólo ayuda al individuo a determinar sus preferencias personales en relación con la salud, el disfrutar del medio ambiente y la elección de carrera, sino igualmente beneficia a la sociedad a través de todas las decisiones hechas por individuos que se informan de las diferentes posibilidades y que evitan, por ejemplo, desperdiciar energía y recursos, contaminación y las consecuencias de una dieta deficiente y el abuso de las drogas.

2. *Una comprensión básica de qué es la ciencia, cómo funciona y cuáles son sus fortalezas y limitaciones.*

Entender que la evidencia es lo fundamental de la actividad científica le permite al estudiante darse cuenta que las teorías y los principios usados para explicar los fenómenos pueden cambiar

⁽¹⁾ EC 2007; IAP 2006.

⁽²⁾ En adelante daremos por entendido que el término educación científica incluye la educación tecnológica.

⁽³⁾ OECD 1999:9.

o abandonarse totalmente cuando se encuentra evidencia nueva en conflicto con la anterior. La apreciación de la evidencia recogida de manera científica es fundamental para evitar la influencia de la pseudo-ciencia que se ofrece frecuentemente en la publicidad y artículos de circulación masiva.

3. *La habilidad de comunicar las experiencias e ideas en ciencias.*

El desarrollo de habilidades lingüísticas y representacionales requeridas para la expresión efectiva de las ideas científicas es importante para comprender nuevas experiencias y para convencer a otros (con razonamiento y justificaciones) del valor de las explicaciones construidas. El estudiante también necesita desarrollar el vocabulario y el conocimiento de convenciones que le permitan compartir y desarrollar ideas a través de la conversación, la lectura y la escritura.

4. *La destreza para continuar aprendiendo.*

Se considera de mayor importancia el desarrollo de conceptos, pericias, aptitudes y la comprensión que una gran acumulación de datos concretos. La información de hechos o datos concretos se puede encontrar fácilmente en las diferentes fuentes de información disponibles en un computador y especialmente en internet. Lo que realmente se necesita es la destreza para acceder a dichas fuentes y el juicio necesario para seleccionar lo relevante y comprender la información para que ésta tenga sentido.

De estos objetivos los tres primeros los podemos agrupar en la idea del desarrollo de una alfabetización científica. En este contexto, 'alfabetización' significa ser capaz de comprometerse eficazmente con los diferentes aspectos de la vida moderna, teniendo los conocimientos y destrezas necesarios para todos, no solamente para futuros especialistas o para quienes necesitarán aplicar profesionalmente el conocimiento de algún área de la ciencia. Todo esto implica sentirse a gusto y competente con las amplias (o 'grandes') ideas científicas, con la naturaleza y limitaciones de la ciencia, con los procesos de la ciencia y teniendo la capacidad de usar estas ideas para hacer decisiones como ciudadano informado y participativo.

La función de las destrezas indagativas

En la construcción de las 'grandes' ideas se debe tener en cuenta cómo aprenden los niños. La comprensión genuina y auténtica depende de la participación activa del estudiante. En los últimos 50 años la investigación nos ha mostrado que los niños se forman ideas acerca de los aspectos científicos del mundo que los rodea se les enseñe o no ciencias, y que algunas de estas ideas no son científicas. La función del profesor es proporcionar a los estudiantes las experiencias, evidencias y la pericia que les permitirán la construcción de ideas científicas. Para comprender las ideas los estudiantes deberán hacer la construcción de éstas a través de su propio razonamiento. El proceso para hacerlo consiste en poner a prueba las ideas existentes haciendo predicciones, analizando e interpretando nueva información para verificar la validez de las predicciones y comunicando los resultados. **El entendimiento elaborado con esta actividad depende fundamentalmente de cómo se usa la destreza indagativa – de cómo se hicieron las predicciones, de la evidencia acumulada y de su interpretación. Estas destrezas caracterizan la actividad científica.** La relación entre las diferentes maneras de pensar esta implícita en la definición de indagación como proceso en que los estudiantes

construyen su propia comprensión de los conceptos científicos a través de experiencias directas con

materiales, consultando libros, otras fuentes de información y a expertos, y a través de argumentaciones y debates entre ellos. Todo esto se lleva a cabo bajo el liderazgo del profesor de clase.⁽⁴⁾

Sin embargo no todo el aprendizaje en ciencias involucra necesariamente indagación – aprenderse nombres, convenciones y la destreza básica para usar equipos es mucho más eficiente con instrucciones directas cuantas veces sea necesario – Es importante asegurarse que sólo se usa cuando la comprensión es el objetivo.

¿Por qué empezar con la educación temprana?

Los puntos anteriores involucran a la educación en ciencias en cualquier etapa, pero existen razones muy particulares para iniciar la educación en ciencias basada en la indagación en los niveles parvularios y primarios. La curiosidad natural de los niños muy jóvenes puede usarse y reforzarse fácilmente con la exploración y el aprendizaje del medio ambiente inmediato. Este es el comienzo del desarrollo de su comprensión científica. Las ‘grandes’ ideas de la ciencia (llamadas así porque explican un extenso grupo de fenómenos relacionados entre sí) no se pueden enseñar directamente; Son esencialmente muy abstractas y realmente no tienen ningún sentido si no se conectan con abundantes situaciones de la vida diaria. Se les debe crear desde ideas ‘pequeñas’, desarrollándolas a través de la comprensión de hechos específicos conocidos por los niños. Por ejemplo, los niños pueden desarrollar con investigación y observación una comprensión de la interdependencia entre plantas y animales en su propio medio ambiente – el jardín, el parque, el río o el seto de arbustos - y podrán con el tiempo entender las razones para proteger las selvas. Pero si los grandes eventos relacionados con la conservación son los puntos de partida, estos podrían entenderse con la misma profundidad que una frase publicitaria y la relación entre ellos se asimilará sólo superficialmente.

Por otro lado, la evidencia de la investigación apoya las siguientes afirmaciones:

- La educación en ciencias en la escuela primaria pone a prueba las ideas intuitivas no científicas de los niños que si no se confrontan pueden interferir más adelante con el aprendizaje de la ciencia.
- Al aventurarse a experimentar en la indagación científica los niños pueden desarrollar aprecio por el funcionamiento de la ciencia, por el poder y las limitaciones de la ciencia, así como la satisfacción del descubrimiento a través de la actividad científica.
- La ciencia puede ayudar a entender las facetas científicas de la vida diaria que afectan la salud y seguridad a lo largo de los años de educación primaria y que tienen repercusiones en la vida a través de los efectos a largo plazo en el medio ambiente.
- La actividad científica y el aprender sobre la historia de las personas y la ciencia refuerza la valoración de ésta como una gran tarea de la humanidad para acumular conocimientos confiables por medio de la recolección sistemática y el uso de la evidencia.
- El involucrarse en una actividad científica nos lleva al reconocimiento de la importancia del razonar en base a la evidencia, lo que es necesario para el futuro aprendizaje en ciencias y otras actividades.⁽⁵⁾

⁽⁴⁾ NSF, 1997:7

⁽⁵⁾ Harlen, 2008: 15.

Consecuencias

El cambio del modo de enseñar tradicional basado en textos y datos concretos a una enseñanza basada en la indagación tiene enormes consecuencias para el desarrollo del currículo, para la educación del profesor, para la provisión de recursos en el aula, incluyendo los asistentes del profesor, y para la evaluación del aprendizaje. Los objetivos de una educación moderna y de la educación basada en la indagación en particular requieren que los estudiantes aprendan de manera independiente. Esto significa que los profesores deberán desarrollar nuevos modos de interactuar con sus estudiantes y tener la confianza de permitirles que desarrollen sus propias ideas.⁽⁶⁾ **La confianza en sí mismos y la comprensión determinan en gran parte que el profesor proporcione a los estudiantes las experiencias necesarias para desarrollar la comprensión del mundo que los rodea a través de la indagación.**

El ECBI está siendo implementado con una velocidad de expansión cada vez mayor en escuelas de más de 30 países en todas las regiones del mundo; por ejemplo en Chile, Colombia, Afganistán, Estonia, Francia, Senegal, China, Camboya, Australia.⁽⁷⁾ Pero dicha implementación no ha estado libre de problemas y es muy importante reconocer los obstáculos que se encuentran al hacer cambios en la práctica educativa. Las encuestas en varios países nos muestran un patrón común de problemas que aparecen al enseñar la ciencia basada en la indagación en las escuelas pre-secundarias. En primer lugar está la comprensión de los profesores de la materia que enseñan, seguida muy de cerca por la influencia de la evaluación que solamente enfatiza el conocimiento concreto de un currículo sobrecargado. La falta de tiempo, recursos, espacio y apoyo son también vistos frecuentemente como limitaciones al cambio en la manera de enseñar. Varios de estos factores quedan fuera del control de los profesores ya que dependen de cambios del sistema. Los profesores requieren el apoyo de materiales de calidad y de otros recursos, pero aún cuando estos están disponibles lo esencial del cambio en las experiencias de los estudiantes son las interacciones con sus profesores. Las evaluaciones en la implementación del ECBI y los resultados de otros estudios señalan al profesor como el único factor realmente determinante de los logros del alumno.⁽⁸⁾ Por ende este documento se concentra en el desarrollo profesional (DP) de los profesores.

Cambiando la docencia mediante el Desarrollo Profesional

Los cambios en la manera de enseñar para la implementación del ECBI y para alcanzar los objetivos de una alfabetización científica y un aprendizaje vitalicio son particularmente desafiantes. Además del cambio en la pedagogía, los profesores necesitan una buena base en la comprensión de los contenidos que deben enseñar así como de la naturaleza de la ciencia. Los estudios demuestran que un conocimiento básico deficiente de las ciencias lleva a la falta de seguridad al momento de enseñarla y a una sobre-dependencia en la veracidad de los textos, evitando las actividades con participación personal activa, discusiones y preguntas de los niños.

⁽⁶⁾ Lo que esto significa para las actividades del estudiante y el papel de los profesores está descrito en el Informe del Grupo de Trabajo sobre Colaboración Internacional en la Evaluación de Programas de Educación en Ciencias Basada en la Indagación del IAP (2006).

⁽⁷⁾ Para una lista más completa ver el Informe de la IAP, nota 6.

⁽⁸⁾ Hattie, 2003.

Dichas prácticas se contradicen con las opiniones recientes respecto al aprendizaje que enfatizan las experiencias directas, charlar, discutir y argumentar. **Los profesores que acostumbran a enseñar ciencia entregando información de un libro de texto necesitan la oportunidad de experimentar, entender y valorar la enseñanza basada en la indagación. Así ellos podrán desarrollar la confianza en sí mismos y la pericia para implementar los nuevos programas de manera efectiva.**

Pese a que los profesores continúan aprendiendo de diferentes formas, al menos informalmente a través de discusiones con los colegas, es muy improbable que los cambios notables en su desempeño, creencias y práctica que se necesitan para la implementación del ECBI se puedan adquirir a través de caminos informales. Se requieren oportunidades estructuradas para pensar en ejemplos y propuestas para el cambio. El diseño del desarrollo profesional sustentable requiere prestar especialmente atención a:

- *Contenido y objetivos* – qué temas y qué clase de actividades están incluidas;
- *Estructura y herramientas* – cómo están organizadas las actividades;
- *Expansión y sustentabilidad* – cómo se ponen las experiencias a disposición de un gran número de profesores;
- *Evaluación* – qué evidencia se recolecta acerca de las actividades de DP, cómo se recoge y cómo se utiliza.

Contenido y objetivos

El contenido de un DP para el ECBI debe abordar principalmente los objetivos de desarrollar confianza en el conocimiento y comprensión de la materia y en el significado de aprender y enseñar a través de la indagación. Pese a que, como vimos, muchos profesores de primaria se sienten inseguros de su propia comprensión de conceptos científicos y por ende carecen de seguridad al enseñarlos, esto frecuentemente aflora como consecuencia de creer que enseñar ciencia significa transferir correctamente datos concretos a los estudiantes. No se puede negar que los profesores de primaria necesitan entender la ciencia, pero es igualmente importante que sean capaces de incentivar a los estudiantes a aprender de manera que sus destrezas indagativas se desarrollen tanto como sus ideas científicas. Estos dos objetivos se pueden alcanzar conjuntamente cuando el DP logra la participación de los profesores en aprender ciencia indagando a su propio nivel, ofreciéndoles experiencias o actividades directas para usar sus pericias indagativas así como su comprensión de los fenómenos estudiados.

Las actividades del DP no son para estudiantes, y no se les pide a los profesores jugar un papel, pero sí que se conviertan en investigadores de fenómenos comunes (como por qué la parte exterior de una lata de bebida se humedece al sacarla del refrigerador) y a aprender indagando. Los profesores al reflexionar sobre su entendimiento inicial, en qué descubrieron y cómo, pueden encaminarse a discernir el funcionamiento de la ciencia. Los profesores no solamente entenderán mejor la indagación al haberla experimentado directamente sino que su forma de aprender deberá ser concordante con la forma de aprendizaje que se espera en la sala de clases; de lo contrario se comunican mensajes incongruentes. Si los profesores solamente siguen instrucciones en su entrenamiento, no es sorprendente que ellos enseñen a los estudiantes solamente a seguir instrucciones, con la inhibición de una indagación real como resultado.

No es posible cubrir todos los conceptos de esta manera, por supuesto, y por consiguiente deberán haber otras fuentes de información para los profesores. En varios países los programas ECBI logran este fin, por ejemplo, proporcionando secciones de contenido científico en las guías del profesor, estableciendo comunicación electrónica con científicos, vinculando estudiantes universitarios de ciencias con las escuelas, estableciendo páginas electrónicas interactivas (websites). Con este apoyo y la confianza entregada por un muy buen programa de actividades para la clase, las preocupaciones respecto de los conocimientos básicos se minimizan y el profesor se podrá centrar en las diferentes maneras de usar los materiales de clase y cómo adaptarlos al contexto local.

Los profesores necesitan entender, además de los principios del ECBI, cómo aprenden los estudiantes y cómo desarrollan sus ideas. Los profesores están en posición de darse cuenta dónde se encuentran los estudiantes en el desarrollo progresivo de las 'grandes' ideas y de sus pericias indagativas, y ayudarles a decidir los siguientes pasos a seguir. Esta es la esencia de la evaluación formativa, un proceso continuo en que el conocimiento de las ideas y destrezas de los estudiantes revela la enseñanza en curso y ayuda a los estudiantes a comprometerse activamente con su aprendizaje. La evaluación formativa es fundamental porque permite a los estudiantes posesionarse de su propio aprendizaje, uno de los aspectos clave del ECBI. La apropiación requiere que los estudiantes conozcan las metas de su trabajo así como los criterios utilizados para evaluar dónde se encuentran ellos mismos en relación a sus metas. Esto los coloca en una posición de poder identificar, junto a sus profesores, los siguientes pasos en su aprendizaje y a tomar parte de la responsabilidad de su propio avance hacia las metas.

Conclusiones acerca de los contenidos y objetivos

Los programas de Desarrollo Profesional deberán permitirles a los profesores:

- desarrollar una visión efectiva de la indagación en acción a través de experiencias directas, trabajo grupal cooperativo y el estudio de buenos ejemplos;
- experimentar a su propio nivel usando destrezas indagativas y manejando diferentes formas de indagación;
- desarrollar el conocimiento a su propia satisfacción, con indagación y a través del acceso a fuentes escritas y en línea y a científicos;
- adquirir una comprensión profunda de cómo ocurre el aprendizaje y del desempeño del profesor en el aprendizaje de los estudiantes mediante la indagación;
- saber cómo 'tratar' las preguntas de los niños y cómo no incomodarse por no saber la respuesta a dichas preguntas;
- usar el medio ambiente, para poder conectar la ciencia con otros temas, para hacer actividades adecuadas a la vida cotidiana de los niños y, cuando sea apropiado, mezclar conocimientos científicos con conocimientos autóctonos;
- desarrollar el uso de la evaluación formativa y de su propia evaluación del progreso de los estudiantes en destrezas científicas, conceptos y actitudes.

Estructura y herramientas

Cuando los profesores están aprendiendo a usar los nuevos materiales y la nueva pedagogía, sus necesidades son muy similares a las de cualquier estudiante, en especial la necesidad de comunicarse, tener una retroalimentación mutua y tener tiempo para reflexionar. Es más fácil que esto se lleve a cabo, y que los profesores desarrollen la apropiación de su propio aprendizaje, cuando el desarrollo profesional se lleva a cabo intermitentemente a lo largo de un período de tiempo, con oportunidades entre las sesiones para que los profesores apliquen lo que han aprendido en sus propias salas de clase y compartan sus experiencias con otros. En un recorrido de las prácticas actuales de los proyectos cuyo objetivo es el cambio en la pedagogía sugiere que el desarrollo profesional proporcionado de esta manera es más efectivo que la concentración de actividades en un corto espacio de tiempo. **La duración general que se necesita para que un DP sea efectivo no es algo que pueda decidirse fácilmente, pero la investigación y la experiencia sugieren un mínimo de 80 horas para que un profesor pueda tranquilamente poner en práctica la indagación.**

Los puntos de vista actuales sobre el aprendizaje, ya sea de niños pequeños o adultos, enfatizan la importancia de la comunicación, compartir experiencias y participar en una comunidad para lograr la comprensión del aprendizaje. Dichas experiencias deben ser planificadas como parte de los programas de DP, y no ser dejadas al azar. Parte de la comunicación puede ser escrita, película o grabación. Son particularmente útiles los estudios de casos que describen cómo determinadas escuelas o distritos escolares han manejado el proceso

de implementación y superado diversos problemas. Puede ser una fuente de inspiración saber cómo una escuela con acceso deficiente a equipo y material investigativo ha sido capaz de movilizar a los padres para que proporcionen, y en algunos casos fabriquen, recipientes y equipos sencillos para medir, observar y cultivar cosas. Los directivos escolares también pueden aprender de las experiencias de otros para proporcionar tiempo a los profesores para que se reúnan a planificar lecciones y deliberar sobre éstas. Al nivel de la sala de clases, las narraciones de cómo se llevaron a cabo actividades que requieren una supervisión cuidadosa del grupo de trabajo, o cómo atender a todo el rango de habilidades dentro de una clase, pueden ayudar a otros a evitar sentirse sobrepasados por las demandas de ayuda durante estas actividades. El simple acto de describir el proceso de cambio en una escuela o en una clase es útil en sí mismo y al mismo tiempo permite a los profesores aprender de otras prácticas.

Conclusiones acerca de la estructura y las herramientas

El Desarrollo Profesional en el ECBI debería:

- combinar experiencias concentradas de DP (por ejemplo de 2 o 3 días consecutivos) con sucesivos seguimientos más breves;
- permitir diferentes puntos de partida y diferentes convicciones iniciales de los profesores para aprender las prácticas del ECBI, reconociendo y atendiendo las diferentes etapas en el desarrollo de competencias (novato, competente, experto) durante el aprendizaje;
- aprovechar la variedad de contextos en que los profesores aprenden – formales o informales, dentro o fuera de la sala de clases, de los colegas y consultores y de la participación – en el desarrollo de la revisión crítica de la enseñanza y de materiales educativos;
- usar la tecnología para proporcionar ejemplos y apoyar a los profesores en la evaluación de sus prácticas;
- establecer dentro de las experiencias del DP tiempo para la colaboración y la interacción informal entre los profesores;
- proporcionar dentro de la sala de clases apoyo entre colegas (o del monitor/consultor), fundamentado en definiciones claras de cuál es el papel del profesor y del consultor.

ES

43

La expansión y la mantención del cambio

El cambio puede parecer engañosamente fácil en un trabajo piloto a pequeña escala. Sin embargo, no considerar la importancia para el éxito del compromiso, frecuentemente entusiasta, de los profesores del programa piloto sería menospreciar las dificultades de alcanzar el mismo nivel de comprensión y entusiasmo con un gran número de profesores. Los profesores a quienes se les ‘cuenta’ sobre la iniciativa, sin que hayan tenido ninguna participación en la innovación que mostró el programa piloto, no estarán dispuestos a adoptar los cambios con el mismo compromiso. El planteamiento vertical de ‘arriba hacia abajo’, indispensable para

los cambios de política, no es muy apropiado para los cambios en las prácticas de la sala de clases donde el desarrollo de la comprensión y la apropiación del cambio son importantes. Sin embargo, más allá de la fase de desarrollo, cuando el objetivo es llegar a un gran número de profesores, se debe encontrar alguna manera de reproducir el DP.

Según la experiencia de cambio en varias áreas de la educación, ya sea currículo, pedagogía, evaluación u organización y administración de la escuela, el camino más efectivo para motivar el compromiso con el cambio es la participación en el desarrollo de nuevos procesos o materiales. Los profesores que han estado involucrados en las etapas tempranas, desarrollando ideas viables de actividades de clase y tomando decisiones sobre los materiales que se están creando, adquieren con esta participación una comprensión y apropiación de las nuevas prácticas. Mientras que en la reproducción expansiva es imposible involucrar a todos los profesores en este tipo de propuesta vertical de 'abajo hacia arriba', esta manera de hacerlo nos muestra probablemente el tipo más efectivo de experiencias.

Algunas propuestas de expansión, conocidas como transmisión de modelos, intentan asegurar que los materiales y mensajes pasen intactos de los desarrolladores a los entrenadores y de éstos a los profesores. Los materiales son frecuentemente proporcionados por los entrenadores de manera que la 'dilución' del mensaje se minimice. El uso de material ilustrativo en CD, o entregados a través de internet, son comúnmente parte de estos paquetes. Todo esto ayuda a asegurar que el mensaje se transmita más o menos intacto. Al mismo tiempo sin embargo, es muy posible que haya pocas posibilidades de cubrir todas las necesidades. Otras propuestas, conocidas como transformación de modelos, reconocen más extensamente que los modelos de transmisión, la complejidad del cambio y particularmente la necesidad de considerar el punto de partida de profesores y escuelas. Estos modelos permiten a los profesores tener más control sobre lo que se les pide hacer, encontrarle sentido a través de la reflexión, compartirlo con otros. De esta manera estas ideas y procesos son asimilados.

Para cualquiera de estas propuestas, se requieren entrenadores capacitados. En casi todos los países que están intentando introducir el ECBI con reproducciones pequeñas de proyectos piloto no hay escasez de académicos y personal escolar experimentado para el desarrollo de estrategias, actividades para el aula o materiales. Sin embargo, para una expansión mayor generalmente existe una escasez de personal con los atributos necesarios para dirigir un DP en el ECBI. Este problema amenaza con frenar la expansión del cambio que realmente necesita el ECBI para poder contribuir a la difusión de la alfabetización científica y el aprendizaje continuo. Una respuesta posible sería entregar incentivos a la capacitación de un futuro instructor de DP, sean financieros o en forma de puntos para ascender en la calificación profesional. Establecer centros regionales o locales que funcionen como focos de aprendizaje comunitario, para reuniones y para la distribución de materiales y recursos puede reducir la carga de la organización central. Establecer estos centros en Facultades de Pedagogía puede ser un paso importante para incluir el ECBI en los programas de pedagogía, un paso claramente necesario para su asimilación a nivel nacional. A las escuelas situadas en lugares remotos se les puede hacer llegar los materiales con TIC (tecnología de comunicación e información) y materiales en línea diseñados para un DP activo y un aprendizaje colaborativo.

Conclusiones acerca de la expansión y el cambio sustentable

Los procedimientos para una amplia expansión e implementación deberían

- reconocer la considerable cantidad de tiempo y recursos que se necesitan para mantener el cambio y su continuidad a gran escala, asegurando una implementación robusta en cada etapa;
- crear desde el centro original pequeños núcleos (en universidades e instituciones) que se conviertan en centros para el DP, tomando en cuenta todas las condiciones locales;
- identificar los centros que operan ejemplarmente para demostrar la efectividad de las estrategias de la expansión;
- asegurar la participación de las universidades y otras instituciones para entrenar profesores de pre-secundaria;
- informar activamente a la comunidad y sus líderes, así como a los auspiciadores públicos y privados del DP, de la importancia de propagar el ECBI y el precio que la sociedad paga al no hacerlo;
- entrenar instructores, ofreciéndoles incentivos adecuados y una vía profesional, recompensando además adecuadamente a quienes apoyan a profesores en el aula;
- proporcionar a los instructores buenos ejemplos de DP en operación con comentarios del fundamento de contenidos, herramientas, etc.;
- pasar del enfoque de transmisión, que puede ser una buena propuesta inicial en muchos casos, al método de transformación de los profesores mientras éstos se apropian de los principios del ECBI;
- usar la tecnología de la información para entregar acceso al DP y apoyar a las comunidades remotas.

ES

45

Evaluación

El desarrollo profesional es sólo uno de los elementos del programa ECBI. Están además los materiales para el aula proporcionados a los estudiantes, las guías de clase para los profesores, los libros de clase para los alumnos, etc. Por esto es muy difícil, si no imposible, separar el efecto en los estudiantes del DP de todos los otros elementos del programa, como tampoco de la influencia de las experiencias fuera de la escuela a través del hogar y de los medios de comunicación. La evidencia del 'éxito' del DP es difícil de obtener, particularmente si se mide desde el punto de vista del cambio en el logro de los estudiantes, donde el impacto es sólo indirecto. Pero el propósito de la evaluación no es necesariamente el juzgar el éxito (evaluación sumativa); también puede ser para mejorar (evaluación formativa). Son pocos los programas ECBI en curso que han alcanzado

la etapa de poder recoger datos para una evaluación sumativa acerca del éxito en el DP que proporcionan, más allá de las impresiones de los profesores involucrados.

Es muy importante no precipitarse con preguntas sumativas demasiado temprano, antes de que exista la posibilidad de que el DP haga efecto y que los profesores hayan tenido la oportunidad de cambiar sus prácticas a las requeridas por el ECBI. El objetivo más apropiado de la evaluación es el de obtener información que se puede usar para la retroalimentación en el diseño de los programas de DP. Para esta evaluación formativa la información debería incluir por ejemplo:

- Cómo el programa de DP permite a los profesores desarrollar sus puntos de vista sobre la naturaleza de la ciencia y de las actividades científicas.
- Cómo se ayuda a los profesores a entender el significado del ECBI y cuán alejado está de la enseñanza basada en textos.
- Si se proporcionan oportunidades para que los profesores apliquen las actividades basadas en la indagación, entiendan sus principios y los pongan en práctica en otras áreas.
- Cómo adaptar las experiencias a las necesidades de los profesores en diferentes etapas y capacidades en el ECBI.

Conclusiones acerca de la evaluación

La evaluación del DP debería

- Estar diseñada con un propósito claro en mente, que puede ser
 - justificar los recursos y los fondos usados para el DP,
 - mejorar las experiencias de aprendizaje de los profesores (evaluación formativa),
 - comparar la efectividad de los diferentes diseños, propuestas y componentes del DP en el ECBI (evaluación sumativa);
- proponer la identificación de las experiencias que los profesores más valoran y que encuentran más efectivas durante su proceso;
- incluir todas las maneras de DP que los profesores experimentan;
- usar el cambio en los profesores en lugar de los estudiantes como medidas e indicadores de resultados;
- incentivar los estudios de investigación asociados que usan muestras cuidadosamente definidas para complementar la evaluación.

RECOMENDACIONES

Por las razones resumidas en este documento, poner en práctica el ECBI es tan difícil como esencial. La experiencia nos muestra que se requiere la comprensión y el apoyo de varios grupos con interés e influencia en la educación de los niños, incluyendo profesores y otras personas asociadas a la escuela: los padres, la comunidad local, desarrolladores de currículo, instructores de profesores, académicos y, lo que es aún más importante, el poder legislativo. Es fundamental que las políticas nacionales y regionales de currículo, evaluación y de educación de los profesores apoyen la implementación del ECBI, y por consiguiente el desarrollo de la alfabetización científica y del aprendizaje continuo que la vida moderna requiere de sus ciudadanos. Esto nos lleva a formular las siguientes recomendaciones para continuar.

En relación a la importancia del ECBI:

1. Las justificaciones del ECBI, especialmente al nivel pre-secundario, se deberán continuar haciendo a través de
 - publicaciones cortas dirigidas a los ministerios de educación, identificando los beneficios del ECBI y las desventajas de no practicarlo a lo largo de la educación primaria y secundaria;
 - enfatizar el consenso internacional sobre la importancia del ECBI;
 - resúmenes de la investigación sobre los efectos del ECBI;
 - informes públicos de evaluación de los programas ECBI;
 - el uso de IT (información tecnológica) y los medios de comunicación para explicar y ejemplificar las practicas del ECBI.

En relación al desarrollo profesional de los profesores

2. El IAP debería disponer la publicación de los contenidos de este documento en varios idiomas y su distribución a todos los países, incluyendo aquellos sin academias.
3. Se deberán tomar medidas para asegurar la participación de universidades, ministerios, agencias patrocinantes, asociaciones profesionales, sindicatos de profesores y otras corporaciones con el potencial de energizar la creación de políticas en cada país.
4. Debe haber cooperación internacional para desarrollar y comparar:
 - ejemplos de programas de DP en el ECBI para profesores de pre-secundaria de las escuelas;
 - materiales para los profesores y los instructores que se puedan adaptar a diferentes contextos y programas ECBI;
 - procedimientos, criterios e instrumentos para evaluar el DP.
5. Se deben armar talleres internacionales de DP para incentivar y compartir puntos de vista de contenidos y procedimientos.
6. Se deben publicar los resultados de las evaluaciones de los programas de DP y acceder a estos fácilmente.
7. La investigación asociada debería incluir un análisis de las investigaciones sobre el aprendizaje de los profesores y los estudios enfocados a identificar propuestas efectivas del DP en el ECBI para profesores escolares de pre-secundaria.

Bibliografía

ASTEP (2007) *L'accompagnement en science et technologie à l'école primaire. Supporting Teachers Through the Involvement of Scientists in Primary Education*. Paris : Académie des Sciences.

Commission européenne (2007) *Science Education Now. A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Bruxelles : EC Directorate for Research (Science, Economy and Society) (Rocard Report).

Harlen, W. (2008) Science as a key component of the primary curriculum: a rationale with policy implications. *Perspectives on Education 1* (Primary Science) 4-18 <www.wellcome.ac/perspectives>

Hattie, J. (2003) *Teachers makes a difference: what is the research evidence?* Australian Council for Educational Research Annual Conference on Building Teacher Quality.

IAP (2006) *Report of the Working Group on International Collaboration in the Evaluation of Inquiry-Based Science (IBSE) Programs*. Santiago, Chili : Fundacion para Estudios Biomedicos Avanzados de la Facultad de Medicina.

Léna, P. (2009) *La science pour tous : illusion ou nécessité ? L'enseignement des sciences et de la technologie en Haute-Garonne*, B.I. n° 92, février 2009.

National Science Foundation (NSF) (1997) *The Challenge and Promise of K-8 Science Education Reform. Foundations 2*. Arlington, VA : NSF.

OECD (1999) *Measuring Student Knowledge and Skills*. OECD Program for International Student Assessment (PISA). Paris : OECD.

Sarmant, J-P, Saltiel, E. (2001) Réussir la rénovation de l'enseignement des sciences et de la technologie à l'école, *L'enseignement des sciences et de la technologie à l'école*, MEN, CRDP Grenoble.

