

Actividades de campo en la asignatura Ciencia del Sistema Tierra: la Geología como estructura básica

Field trips for Earth Science System: geology as a basic framework

CELSO DAL RÉ CARNEIRO, PEDRO WAGNER GONÇALVES

Departamento de Geociências Aplicadas a la Enseñanza. Instituto de Geociências. Universidad Estatal de Campinas. Cx.P. 6152. Barão Geraldo. 13083-970 Campinas, SP. Brasil. E-mail: cedrec@ige.unicamp.br, pedrog@ige.unicamp.br

Resumen La asignatura Ciencia del Sistema Tierra es impartida en la Universidad Estatal de Campinas (Brasil) en las licenciaturas de Geología y Geografía. En el ámbito de esta materia se ha hecho una búsqueda de indicadores del aprendizaje en las actividades de campo. Se ha tomado como referencia la Historia de la Ciencia. Así, a finales del siglo XVIII el quehacer de la Geología cambió debido a la introducción de las actividades de campo, esta novedad supuso la llegada de otras maneras de razonar sobre la naturaleza. Los alumnos necesitan observar directamente en el campo para relacionar conceptos, entender procesos y construir razonamientos que van a permitir la construcción de ideas integradas sobre el planeta.

Palabras clave: Enseñanza de las Geociencias, actividades de campo, Introducción a la Geología, Historia de la Ciencia, James Hutton

Abstract *The experience of teaching Earth System Science for students of geology and geography is connected with field activities at The State University of Campinas. The indicators of students' learning through field activities have been studied. History of Science has been used as a reference. In the eighteenth century field studies were introduced in the science of geology, which led to a new way of thinking about nature. Students need to make direct observations in order to understand processes and concepts and learn to reason about our planet.*

Keywords: *Teaching of Earth Sciences, Field activities, Introductory Geology, History of Science, James Hutton.*

INTRODUCCIÓN

Este trabajo expone la reflexión sobre las actividades de campo realizadas en el Instituto de Geociencias de la Universidad Estatal de Campinas – Unicamp – en el estado de São Paulo (Brasil).

La implantación de las licenciaturas de Geología y Geografía en 1998, impulsó un amplio trabajo de investigación en Enseñanza de las Geociencias por parte de los miembros del Departamento de Geociencias Aplicadas a la Enseñanza. La reflexión sobre cuáles serían las mejores maneras para desarrollar y analizar los trabajos de campo se intensificó debido a las necesidades de formación de los profesionales de las Ciencias de la Tierra y también por el aumento de estudiantes.

Durante más de diez años se han introducido modificaciones substanciales. Se ha realizado un seguimiento cuidadoso de los resultados de dichos

cambios a partir de la reflexión que los profesores hacen sobre su propio trabajo.

Las actividades de campo en la asignatura Ciencia del Sistema Tierra representan en la actualidad 24 horas de actividades distribuidas en cuatro días diferentes, dos en el primer periodo lectivo del curso académico (marzo y abril) y otras dos en el segundo periodo (septiembre y noviembre). Actualmente la asignatura consta con un total de 120 horas de actividades teórico-prácticas, dentro de las que se encuentran las 24 horas de actividades de campo. La asignatura recibe dos grupos anuales, sumando en total 70 alumnos que acaban de iniciar sus estudios universitarios.

Los principales desafíos están relacionados con la necesidad de mejorar la calidad del proceso de seguimiento del aprendizaje de los alumnos. El presente artículo escoge momentos estratégicos de la Historia de la Ciencia que sirven para examinar la enseñanza de campo.

OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo ha sido investigar cómo se pueden construir indicadores que permitan describir el aprendizaje adquirido en las actividades de campo, dentro del marco de una asignatura de Introducción a la Geología.

El eje del análisis son las actividades de campo realizadas en la asignatura Ciencia del Sistema Tierra donde hemos tenido la oportunidad de perfeccionar tanto el objetivo como la secuencia de actividades de campo para Introducción de la Geología.

Pretendemos además, indicar que determinados hechos históricos pueden ayudar a identificar algunos pasos y problemas que podrían ser trabajados en la enseñanza de la Geología.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

Podemos tomar como punto de partida la idea de que todo trabajo de campo constituye una narrativa seleccionada y organizada por el profesor, de acuerdo con criterios educativos y según los objetivos definidos, para que los estudiantes se aproximen a una realidad que deben estudiar e investigar. El énfasis en los aspectos metodológicos (Praia 1996) es importante para la construcción de los estudios de la Tierra por medio de la Ciencia del Sistema Tierra. Por esta razón, a continuación discutimos algunas contribuciones relevantes y exponemos de qué manera los conceptos se integran en este esfuerzo por elaborar indicadores que describan el aprendizaje y el desarrollo cognitivo de los alumnos.

Trend (2009) señala la importancia de la argumentación en la enseñanza de las ciencias y seguidamente, indica algunas alternativas de las Geociencias para poder desarrollar una enseñanza más investigativa, dialogada y argumentativa. El autor enfatiza que la enseñanza argumentativa está asociada con frecuencia a temas socio-científicos y sólo secundariamente trata de asuntos internos de las ciencias, tales como un principio o una ley de la ciencia.

La propuesta de Trend (2009) nos conduce a lo que típicamente se relaciona con el razonamiento geológico: los problemas y desafíos que estudiantes encuentran cuando se ponen a interpretar un afloramiento. No hay nada más intrigante, interpretativo y argumentativo en el *quehacer de la Geología* que la necesidad que surge en el campo de tener que desarrollar la creatividad.

El campo (en la Geología es un sinónimo de naturaleza) abre la posibilidad de múltiples interpretaciones sobre lo que ha ocurrido en el pasado y sobre cómo el ambiente ha generado en la actualidad unas condiciones que están “fossilizadas” (registradas o fijadas en la corteza terrestre) en la organización y en la distribución de los materiales rocosos (ver Potapova 2008).

Es necesario introducir a los alumnos en esta dinámica para poder observar e interpretar las formas geológicas. Se trata del desarrollo de habilidades que abarcan: la inteligencia espacial, la intuición y la capacidad motora para seleccionar y clasificar tanto los cuerpos geológicos, como las estructuras presentes en los lugares visitados.

Hay muchas experiencias que relatan procedimientos y materiales de actividades de campo. Desafortunadamente no tenemos una reflexión cuidadosa sobre lo que sucede en el campo, en términos de razonamientos y procedimientos cognitivos, y por eso tenemos pocos indicadores para describir (y evaluar) el aprendizaje obtenido por los alumnos. Pero podemos afirmar que muchos elementos del razonamiento visual y espacial son notablemente empleados en las actividades de campo.

Kastens *et al.* (2009) buscan describir cuáles son los procedimientos mentales empleados para hacer una interpretación geológica a partir de los elementos del campo. Aunque hayan utilizado *afloramientos artificiales*, revelan que es necesario usar referencias espaciales para integrar los datos de localización y organización de los cuerpos y las estructuras geológicas, estos son algunos pasos para construir un modelo tridimensional.

Frodeman (2004) trata de describir la inteligencia visual. La actividad de campo en Geología engloba cierto tipo de razonamiento visual, táctil y cinético. El geólogo no se queda parado al lado del afloramiento, necesita caminar, escalar, martillar y mirar con cuidado aquello que considera relevante. Examina desde diferentes ángulos, intuitivamente busca la mejor distancia para caracterizar las formas y organiza una serie de visiones del mismo objeto. Usa la inteligencia corporal y el conocimiento matemático. Establece una relación entre lo visible y lo no visible.

El mismo autor muestra que nuestra imagen mental sobre lo que hace el geólogo está relacionada con el campo, pues esta es la percepción pública del profesional. Para Frodeman (2004), desde los orígenes de la disciplina, la Geología ha estado fundamentada en los aspectos económicos y simultáneamente en el espacio experimental y poético. Esta es la ciencia que busca y produce todos los recursos minerales (hierro, plomo, estaño, etc.), por tanto abastece la base material para construir las máquinas, lo que significa que lo económico toma la naturaleza como recurso natural. Por otro lado, el carácter tradicional del geólogo está vinculado al del científico ambiental que incorpora cierto ideal sobre el estudio de ecosistemas y que pasa su vida al aire libre, dejando atrás los avances de la civilización, un científico que también intenta recrear la vida de los dinosaurios y el ambiente en el que vivían, además de hacer interpretaciones de los fragmentos de huesos encontrados en los estratos a partir de una serie de inferencias. Es decir, el trabajo del geólogo histórico depende de la capacidad que el profesional

tiene para soñar e implica el desarrollo de la creatividad y de la imaginación.

¿Cómo se ha construido históricamente este quehacer científico? ¿Cómo se entrelazan las características de la actividad de campo con el conocimiento geológico? Y ¿qué es lo que este quehacer científico nos indica que tenemos que tener en cuenta para enseñar a nuestros alumnos?

Historia de la Ciencia como inspiración para reflexionar sobre la enseñanza

Es estratégico describir el quehacer de la Geología a finales del siglo XVIII y principios del XIX. Se trata del momento histórico en el que podemos identificar el surgimiento de la Geología como ciencia moderna. Un trabajo clásico de Guntau (1978) muestra como el conocimiento estratigráfico se apoyó en la minería, o sea, las actividades económicas se amalgaman con el conocimiento de la Tierra. Muestra la expansión significativa de la producción británica de bienes minerales metálicos y energéticos (hierro, plomo, carbón) y señala el aumento de las actividades de campo como característica principal de los aspectos metodológicos de la época.

El quehacer científico ha sido tratado en detalle por Rudwick (2005). Este quehacer fue descrito junto con cada lugar en que se realizaba. Durante el siglo XVIII los estudios de la Tierra se apoyaban en las actividades de campo.

De los tres ambientes dedicados al quehacer científico—museo, laboratorio y campo— el museo era el lugar por excelencia para la elaboración del conocimiento sobre la naturaleza, mientras que los otros dos estaban subordinados al primero. Rudwick (2005) destaca que el laboratorio fue muy importante para la Mineralogía pues era usado para determinar las propiedades de los minerales, es decir, el laboratorio servía para la clasificación (taxonomía), fue el lugar para identificar, diagnosticar y determinar los minerales. También señala que los experimentos de laboratorio procuraban reproducir o simular los procesos terrestres en pequeña escala y en algunas ocasiones, estudiaban los productos de determinados procesos que habían sido observados en el campo en una escala más amplia. Debido a los límites impuestos por la escala el laboratorio era considerado como un instrumento limitado para llegar a conclusiones sobre regiones amplias y sobre el planeta.

En el siglo XVIII los museos dejaron de ser vistos como gabinetes de curiosidades, Rudwick (2005) indica que el museo era el lugar utilizado para la formación y para el trabajo de los naturalistas. El espacio se transformó desde principios hasta finales de siglo, de manera que los gabinetes de colecciones de objetos raros y excepcionales se transformaron en inventarios de la naturaleza, en los cuales también se podían apreciar los objetos comunes. Esta modificación supuso un importante cambio en la organización física de los museos: pasaron a admitir

visitantes casuales que querían admirar especímenes bellos y raros y, por otro lado, también llegaban los antiguos visitantes que pretendían hacer estudios de los ejemplares del museo, los cuales necesitaban tener facilidades para ver, guardar e investigar estas muestras.

Por aquel entonces, surgió entre los naturalistas la idea de involucrarse en las actividades extra muros del museo, una idea diferente que contrastaba con la práctica de trabajo dentro del museo y que estaba ampliamente establecida, ya que era un local cerrado donde era posible reunir, almacenar y organizar los materiales que llegaban de todas las partes. Esta nueva visión hizo que los naturalistas enviaran al campo a sus estudiantes y asistentes, allí deberían recoger los especímenes en su estado natural. A principios del siglo XVIII, era poco común que los naturalistas con más experiencia hicieran el trabajo de campo, después de la fase de aprendizaje en raras ocasiones participaban en los viajes de exploración. Es fácil entender la razón por la que concentraban su trabajo dentro del museo: los especímenes se encontraban en un lugar central donde era posible identificarlos y clasificarlos. El trabajo dentro del museo tenía prioridad y prestigio mientras que recolectar muestras en el campo no los tenía. Esta situación comenzó a cambiar en el último cuarto del siglo XVIII, se desafió a los naturalistas a valorar el trabajo de campo, pasando de actividad marginal a ser considerada crucial para naturalistas expertos y reconocidos, tanto científica como socialmente.

Rudwick (2005) observa que se podrían exponer muchas razones para explicar este cambio de actitud frente al campo pero la razón esencial es que este permitía entender las formas en la escala que caracteriza a la Tierra, lo que hizo posible estudiar objetos que eran demasiado grandes para ser expuestos y estudiados dentro de los museos. Esta función epistemológica trajo la idea —y también el prestigio— de hacer el estudio *con los propios ojos*, el naturalista necesitaba visitar y estudiar por sí mismo las formas para dar credibilidad científica a sus declaraciones.

Bastantes naturalistas de finales del siglo XVIII demuestran este cambio de actitud frente al campo: James Hutton (1723-1797), Alexandre Brongniart (1770-1841), Georges Cuvier (1769-1832), etc. Pero tomamos el caso de Hutton porque su quehacer científico nos resulta más familiar.

James Hutton ejemplifica este cambio de actitud frente al campo y al papel epistemológico del mismo en las explicaciones sobre el origen de las rocas y de la Tierra. Dean (1981) intentó reconstruir hipotéticamente el proceso mental imaginado por Hutton cuando formuló sus explicaciones sobre el origen de las rocas (principalmente el granito) y la propia historia de la Tierra. Dean se preguntaba cómo fue el proceso por el que Hutton se imaginó los ciclos de la naturaleza y al contestar, sugiere como respuesta que este se dio a partir de la observación directa de

la naturaleza (campo) realizada en su finca de Slighouses: se preguntó hacia dónde se habría ido el agua en el que se depositaron las calizas, creyó que lo más simple de imaginar es que hubo un levantamiento del continente al contrario de la otra opción que consideraría un descenso del océano. No tenemos evidencias o documentos que comprueben tal hipótesis. De cualquier manera, el estilo empleado en el argumento huttoniano, lleno de detalles, aporta indicios sobre las explicaciones acerca de la idea de los ciclos de la naturaleza. Gonçalves (2004) muestra el potencial educativo de explorar la historia de la Colección Huttoniana de fósiles y minerales, pues resalta la importancia de las actividades con muestras en siglo XVIII.

Jones (1984) señala que la teoría huttoniana del calor subterráneo fue formulada en su gabinete particular de minerales y fósiles: el examen de las muestras con el microscopio fue esencial para caracterizar el origen debido a la fusión de muchas rocas. Lo que se presenta claramente en la segunda versión de la Teoría de la Tierra (1788).¹ Hutton (1788) argumentó apoyándose en una muestra de granito de su Colección de Fósiles y Minerales:

“Resulta evidente, tras la inspección de este fósil que revela que las sustancias síliceas se mezclaron en estado fluido y que durante la cristalización de la substancia feldespática, que es ortorrómbica, se determinó la estructura regular del cuarzo en algunas direcciones, al menos” (Hutton 1788, p.256 – el término *fósil* no era restringido a evidencias de vida del pasado como actualmente lo usamos)

Para seguidamente concluir:

“Así, la sustancia sílicea (cuarzo) debe ser considerada incluida en el feldespato, de acuerdo con las leyes de cristalización de los granos de feldespato, pero el feldespato también se encuentra envuelto por el cuarzo. Por lo tanto, no siempre está perfectamente incluido o envuelto por todos los lados ya que algunas veces esto solo ocurre en una sección. Las figuras 5, 6, 7, 8, 9 y 10 son casos vistos al microscopio y representan diferentes relaciones de cuarzo incluido en el feldespato. Por otro lado, el feldespato que está contenido en el cuarzo también contiene pequeños triángulos de cuarzo incluido. Entonces, no es posible concebir otra manera en la que se puedan endurecer juntas las dos sustancias, cuarzo y feldespato, si no es por el enfriamiento a partir del estado fluido en el cual fueron mezcladas” (Hutton 1788, p.256 – las figuras mencionadas se encuentran en el original).

¹ Ver la traducción para español de la Teoría de la Tierra de Hutton hecha por García Cruz, C.M., Enseñanza de las Ciencias de la Tierra 12(2), 2004.

El resultado de la observación de la muestra con el microscopio aporta un elemento decisivo sobre su origen. Inicialmente fue usado un razonamiento clasificador para identificar y clasificar los minerales. Después la observación fue usada para mostrar cómo las relaciones entre granos podían ser un criterio para el ordenamiento temporal y histórico, así Hutton pudo determinar el origen magmático de la muestra.

Hutton (1788) a partir de la página 248 pasa a describir los cristales contenidos en drusas de una serie de muestras examinadas que forman parte de su propia colección. Para abordar la consolidación de los estratos, describe cómo se forman el ágata y otros minerales dentro de las geodas. De hecho, organiza la secuencia de la cristalización de los minerales, los identifica y describe las formas geométricas presentes. Por ejemplo:

“Tengo una muestra cuyos cristales primarios son síliceos, los cristales secundarios son foliáceos y finos, de un rojo intenso de mineral de hierro, que forman figuras elegantes, cuyo hábito es de rosas. La cristalización terciaria es de pequeños cristales síliceos” (Hutton 1788, p.249).

El eje central es un estudio de muestras orientado a narrar cómo se ha formado cada una de ellas. La descripción de la forma y la distribución de los minerales en muestras de granito, geodas y otros objetos naturales, sirvió para apoyar lo que Hutton denominaba como principios químicos y mecánicos, es decir, la idea sobre la ciclicidad de los procesos que modifican el mundo terrestre de acuerdo con un diseño preestablecido y una economía de la naturaleza.

Después de la exposición de la Teoría de la Tierra, pronunciada 1785 en la Sociedad Real de Edimburgo, Hutton necesitaba hacer descripciones más precisas sobre las relaciones entre el granito y las rocas vecinas, según expone Bailey (1967). Para tal fin realizó diversos viajes a lugares donde esperaba poder describir granitos (Río Tilt, 1785; Galloway, 1786; Isla de Arran, 1787). Craig (1978) detalla estos viajes de Hutton a partir de los dibujos y del diario del John Clerk de Eldin, descubiertos en 1968.

Craig (1992) señala que la presentación de la Teoría huttoniana de la Tierra de 1785, se hizo para un público poco receptivo al lenguaje empleado y a la idea de que la Tierra se modifica constantemente, así como a la de que los ríos transportan los sedimentos hasta el mar debido a la erosión. Todo aquello iba a ser difícil de aceptar y exigiría bastante material para poder ilustrar tales explicaciones. La conjetura de este autor es que Hutton se dio cuenta de que para que su teoría fuese más convincente, necesitaría obtener material en el campo que reforzase sus afirmaciones.

Playfair (1805) cuenta que el viaje al Río Tilt se preparó a partir del conocimiento que Hutton tenía sobre la región de Aberdeenshire, sabía que en el valle del Tay había un contacto entre los esquistos y el granito. Pero el lugar era de difícil acceso y el Duque de Athol sugirió que Hutton y John Clerk de Eldin visitasen el valle del Tilt.

Hutton (1899, p.11-12) explica que el valle del Río Tilt es muy propicio para enseñar la historia natural de la región debido al contacto entre las rocas existentes:

“El Río Tilt es la parte más interesante para ver la historia natural. Este río discurre por un valle largo y estrecho corriendo directamente entre dos montañas, los lados son como precipicios rodeados por tierra y rocas. El Río Tilt corre en este valle, deja al descubierto roca sólida en muchos lugares que es cortada y pulida por la corriente, presenta aquí y allí la figura más interesante de la sección de los estratos. La dirección del valle es casi S.W. N.E.; los estratos, por lo tanto, se extienden en esta dirección y presentan sus afloramientos en el lecho del río, son atravesados por las curvas naturales del curso del agua en el valle, o por las irregularidades de los propios estratos que están sujetos a formas particulares.”

Los dibujos hechos por John Clerk de Eldin de los cantos que fueron encontrados en el fondo del Río Tilt (reproducidos por Craig 1978) representan el contacto entre los esquistos y el granito. Hutton utilizó un método ya usado en otras situaciones (de hecho es la base de la moderna prospección geoquímica), pues en su carta para John Strange, de 1774, defiende que los depósitos del fondo del cauce representan los materiales presentes en el área de la cuenca hidrográfica (Gonçalves, 2008). Esta noción puede ser una consecuencia de la importancia que Hutton atribuyó a los ríos como agentes erosivos que denudan los continentes.

Por otra parte, la descripción de Hutton (1899) revela otros aspectos metodológicos de la actividad de campo y cómo éste deja de estar subordinado al trabajo de gabinete con las muestras de museo.

La descripción evidencia la distribución espacial de los materiales rocosos que sirvió de base para elaborar la historia geológica regional. ¿Qué pasos fueron dados en el campo? Primero, se realizó la clasificación de los materiales, su identificación y la descripción de sus propiedades; después fueron descritas sus relaciones espaciales, su significado tridimensional a partir de las observaciones bidimensionales produjo la caracterización de cuerpos geológicos tridimensionales.

Los pasos y los elementos históricos aportan sugerencias de directrices que podrían ser útiles en las actividades de campo educativas. Cada una de estas directrices puede ser considerada entre dos polos

de nivel máximo y mínimo en términos de aprendizaje. Los puntos centrales de tales directrices son los siguientes:

- Narrativa temporal y construcción del pasado a partir de las huellas encontradas en el presente.
- Capacidad de comparar, identificar y clasificar materiales terrestres (rocas y minerales)
- Desarrollo de habilidades cognitivas visuales y espaciales para construir la tercera dimensión del cuerpo geológico a partir de la observación bidimensional.
- Capacidad cinética de operar con varias escalas (muestra de mano, afloramiento y perfil geológico) para realizar las observaciones decisivas de la reconstrucción histórica.

APLICACIONES DIDÁCTICAS

Las directrices indicadas sirven para organizar la secuencia de actividades de campo. En estas actividades el énfasis sobre lo que los alumnos deberían aprender varía, comprendiendo desde prácticas que requieren mayor capacidad para reconocer y clasificar materiales terrestres, hasta prácticas que conllevan una autonomía mayor para la búsqueda, en los afloramientos, de evidencias que ayuden a reconstruir la distribución de los materiales y la secuencia temporal de la historia geológica regional.

Gravera y depósitos sedimentarios cenozoicos

La primera actividad de campo de Ciencia del Sistema Tierra no recurre a nociones geológicas previas. Por medio de actividades prácticas de gabinete los alumnos se familiarizan con rocas y minerales y se hace una introducción a la lectura y al uso de mapas topográficos.

Después de pocas semanas de clases teóricas y prácticas, el campo sirve para introducir lo que caracteriza al estudio geológico: la reconstrucción de la historia geológica a partir de datos fragmentados.

A lo largo de estos años se han visitado diferentes graveras: Itaquaquecetuba, Jaguariuna y Jacaré (Brasil). La historia de los cambios que se han introducido se puede leer en Carneiro et al. (2008). Todos los lugares visitados poseen algunos puntos en común: las capas presentan baja cementación, se trata de depósitos inmaduros, recientes (edades del Paleógeno al Pleistoceno), a veces cortados por fallas y diaclasas.

Un punto clave es la observación de los procesos actuales de transporte, erosión y deposición de materiales en escala métrica. Tales observaciones se pueden hacer gracias a que durante el proceso de extracción de la arena se manipulan los materiales, lo que posibilita la descripción de la dinámica erosiva y deposicional. Se puede inducir cómo se forman los depósitos fluviales y lacustres actuales a escala de modelo. El siguiente paso es comenzar a razonar

empleando un abordaje actualista para poder interpretar los depósitos fluvial-lacustres del pleistoceno u otros más antiguos.

La interpretación de las capas depende de la aplicación en los razonamientos de los principios de superposición e intersección de estructuras.

Con esta actividad se pretende reconstruir los ambientes de sedimentación que existieron en la época en que las rocas se formaron, como parte de la comprensión global de la historia geológica regional. Los alumnos realizan experiencias con sedimentos vertidos en corrientes de agua, lo que puede auxiliar para reconocer determinadas características de los procesos sedimentarios actuales. En esta práctica los alumnos observan y determinan los intervalos granulométricos (tamaños de granos) que podrían ser transportados por la corriente, lo que les permite comprender y establecer relaciones de capacidad de transporte de la corriente (velocidad y cantidad de agua) y tamaño de los granos transportados. La visita incluye el afloramiento de areniscas, conglomerados y sedimentos no consolidados (arenas, gravas, limos y arcillas), lo que permite establecer relaciones simplificadas con los principios de horizontalidad, de continuidad lateral, de correlación, de horizontalidad original de los estratos, de superposición y de intersección de estructuras observadas en sistemas de fallas.

Las actividades refuerzan la idea de que los estudios geológicos son históricos y que para hacer cualquier transferencia de información en el tiempo es necesario construir modelos y explicaciones aceptables por el conocimiento científico actual. Tal presupuesto teórico se lleva a cabo de forma simulada, ya que la interpretación de los registros pliocenos y pleistocenos se hace por medio de modelos formulados a partir de las observaciones e interpretaciones de los fenómenos actuales. La efectividad de la metodología de investigación adoptada se comprueba después de la actividad de campo por medio de una reflexión sobre las interpretaciones y las representaciones hechas por los alumnos (debate de la excursión e informe de la actividad).

Durante las actividades de campo y en los debates posteriores se abordan conceptos importantes, destacando algunos que son esenciales para la evaluación final: escalas de representación, erosión, sedimentos, arena, limo, arcilla, grava, estratificación, capa, transporte y deposición, área madre, energía de transporte, área deposicional, principios de superposición, intersección y correlación de estructuras y cuerpos rocosos.

Cuenca Sedimentaria del Paraná (Campinas, Salto e Itu)

Se trata de una actividad que visita los lugares típicos de la geología del estado de São Paulo (Brasil). Los alumnos de Ciencia del Sistema Tierra

hacen su segunda salida de campo para visitar afloramientos y parques geológicos. Visitan amplios paredones y rellanos de la cantera inactiva de las varvas glaciares de Itu (explotación de lajas extraídas desde el periodo colonial), cuyo origen está asociado a corrientes de turbidez pérmicas. Después los alumnos visitan la exposición singular de la Roca Aborregada en Salto, el granito en cuestión muestra marcas de erosión glacial de edad pérmico-carbonífera (Almeida 1948).

En el afloramiento de Itu, las rocas del Subgrupo Itararé (Pérmico-Carbonífero) presentan capas delicadas con un espesor submilimétrico-milimétrico, ondulaciones y laminaciones, *drop stones*, huellas fósiles dejadas por poliquetos, cantos facetados y algunos cantos estriados. En Campinas se visitan los limos y areniscas arcósicas del Subgrupo Itararé que fueron depositados por corrientes de deshielo en un ambiente subacuoso. En Salto, además de observar las estrías debidas al arrastre de materiales en la base del glaciar en el granito de Itu, se ven innumerables formas asociadas al arranque de minerales y fragmentos de roca, así como algunos depósitos de tillitas junto al granito.

Los alumnos interpretan el ambiente glacial a partir de las huellas que han sido dejadas en este conjunto de rocas de la Cuenca Sedimentaria del Paraná. Requieren mejorar sus habilidades para ampliar la noción de distribución de cuerpos geológicos en una vasta región, que va desde Campinas hasta Salto, cerca de 50 km de distancia.

Se hace un claro esfuerzo para explorar los principios del tiempo geológico que se introdujeron en el primer viaje (a la gravera) y los alumnos son incentivados a hacer comparaciones y correlaciones entre los cuatro puntos visitados para poder desarrollar la noción de distribución de cuerpos geológicos en el ambiente sedimentario.

Adicionalmente, después del campo, se motiva a los alumnos a reflexionar sobre el cambio climático y a discutir las posibles hipótesis que pueden ser planteadas para explicar la glaciación gondwánica.

Cuenca Sedimentaria del Paraná (Limeira, Americana, Santa Bárbara y Campinas)

La tercera salida tiene como tópico central la importancia de construir correlaciones para poder elaborar la historia geológica regional de Campinas. En el área se encuentran diamictitas, areniscas, limolitas y turbiditas del Subgrupo Itararé de la Cuenca Sedimentaria del Paraná. En uno de los puntos de observación, esas rocas sedimentarias son cortadas por diques de cuarzo que están asociados a un lacolito diabásico toleítico. Dentro de Campinas, son visitados los afloramientos de roca diabasa toleítica que pertenecen al sill de Campinas. Estas rocas magmáticas pertenecen a la Formación Sierra General del Jurásico-Cretáceo (el mayor evento magmático de la Cuenca del Paraná).

A partir de las diversas observaciones fragmentadas se motiva a los alumnos a construir correlaciones para poder interpretar el cambio ambiental registrado por las rocas sedimentarias, así como también a interpretar la naturaleza geométrica de las diabasas.

Los afloramientos de diabasas dentro de Campinas fueron antiguas canteras que muestran patrones y cortes que ayudan a dar una idea de los volúmenes que conformaban estos cuerpos rocosos, es decir, la configuración del afloramiento facilita la formación de una noción espacial de la distribución de las rocas. Además, existe un corte del terreno junto a las vías del tren donde se observan los contactos con las areniscas, hecho que refuerza la idea de intersección de estructuras y que posibilita elaborar la historia geológica regional.

Grupo São Roque y granitos asociados (alrededores de São Paulo)

La cuarta actividad de campo de la asignatura Ciencia del Sistema Tierra trata sobre el “ciclo de las rocas y la historia geológica de São Paulo”. Para trabajar este tema aprovechamos canteras de granito y cortes de carreteras (Circunvalación Metropolitana Mario Covas en la Región de Perus, noroeste de la ciudad de São Paulo). Los cuerpos magmáticos incluyen al batolito de Cantareira y las venas y diques aplíticos y pegmatíticos, donde el granito y la pegmatita poseen una amplia y bella variedad mineralógica. Allí se pueden encontrar los tres principales tipos de rocas en función de su génesis: magmáticas, metamórficas y sedimentarias. Las edades varían desde el Neoproterozoico (más de 542 millones de años) hasta el Pleistoceno. El área constituye uno de los primeros lugares de explotación minera de la ciudad, con actividades mineras que remontan al siglo XVI, especialmente en las minas de oro del Jaraguá, SP (Carneiro 2002).

Durante el viaje se desafía a los alumnos a sintetizar lo que han visto a lo largo de todo el año. Se visitan afloramientos de granitos datados del intervalo Neoproterozoico-Cámbrico-Ordovícico, además de las rocas del Grupo São Roque (Carneiro 1983), que deberían ayudar a los alumnos a: (a) reconstruir las condiciones y el ambiente que existieron en la época en que se formaron y (b) comprender, en un primer acercamiento, la idea de ciclo de las rocas que se ha ido desarrollando en las clases teórico-prácticas. La secuencia de puntos visitados en el itinerario incluye el Pico de Jaraguá, punto culminante de la ciudad de São Paulo (esculpido sobre cuarcitas del Grupo São Roque). En los informes los alumnos presentan las conclusiones de cada grupo. Las observaciones hechas en este viaje siguen las escalas y los procedimientos sugeridos por Bach et al (1988).

ASPECTOS ESTRATÉGICOS DE LA ENSEÑANZA DE CAMPO

La historia geológica regional se desarrolla con una escala espacial y temporal creciente. Esto resulta interesante porque a lo largo de las demás actividades de la asignatura “Ciencia del Sistema Tierra” los alumnos han ido profundizando en la idea de la escala de tiempo geológico. Lo que les prepara para la compleja tarea de reconstruir la narrativa del Grupo São Roque en la cuarta actividad de campo.

Cuando el profesor asume que la función de la actividad de campo es solamente ilustrar conceptos expuestos en la clase, los afloramientos pasan a ser meros apéndices de una explicación, o de una narrativa previamente desarrollada. Este es un tipo frecuente de actividad de campo, que Compiani y Carneiro (1993) denominan como ilustrativo. En los demás tipos de papeles didácticos de trabajos de campo —motivador, entrenamiento, inductivo o investigador— puede aumentar la dificultad para conseguir alcanzar los objetivos. Esto requiere una mayor planificación y una progresión de los objetivos didácticos: algunos temas hay que tratarlos antes que otros, lo que equivale a decir que en las asignaturas de introducción a la Geología no se debe lanzar a los alumnos de inmediato para hacer una interpretación evolutiva y profunda. De esta manera se construye una sucesión de etapas que comprenden tres temas desarrollados en los trabajos de campo:

Carneiro *et al.* (2007) señalan que este conjunto de temas de campo lleva a los estudiantes a: (a) aplicar conocimientos y a construirlos gradualmente, al observar e interpretar procesos naturales y productos geológicos; (b) comparar sus ideas con aquellas que han sido formuladas por sus compañeros y profesores; (c) comprender en la práctica, de qué manera se produce la ciencia mediante la formulación de teorías, explicaciones e hipótesis con incertidumbres inherentes al proceso de conocimiento.

Todas las dimensiones de argumentación en el campo y su potencialidad para abrir debates sobre el carácter hipotético de las explicaciones geológicas no fueron tratadas por Trend (2009).

Las directrices que fueron extraídas de los ejemplos históricos y de los cambios del quehacer científico nos revelan componentes esenciales que están asociados al aprendizaje de los razonamientos espaciales y visuales, así como al montaje de la narrativa histórica.

Las observaciones hechas en el Río Tilt involucran razonamientos que requieren la clasificación de rocas y minerales. Estos procedimientos fueron parte del trabajo de gabinete y museos, pero se ampliaron a otras escalas de espacio en el campo. En el mismo viaje, Hutton describe la distribución de cuerpos geológicos en el espacio para construir sus nociones de relaciones temporales. Esta secuencia de pasos orienta los razonamientos más requeridos a los alumnos desde el primero hasta el cuarto viaje de campo.

En las actividades de campo iniciales predominan los ejercicios de clasificación y de reconstrucción histórica, mientras que en las actividades finales se enfatiza la necesidad de razonar en diferentes escalas de espacio-tiempo y, por último, es fundamental construir la idea de cuerpo rocoso tridimensional a partir de las observaciones en los afloramientos. Poder imaginarse el ciclo de las rocas y las dinámicas que sucedieron en el período de enfriamiento del batolito depende del desarrollo de habilidades de búsqueda de observaciones más decisivas y de la capacidad de pensamiento espacial.

El desarrollo histórico de los estudios de la Tierra indica que la acumulación de informaciones requirió de la profundización en las técnicas para clasificar rocas y minerales. Esto fue acompañado de una descripción minuciosa que permitió reinterpretar los significados genéticos de cómo se formó cada roca. Un paso importante fue la representación visual: dibujos y pinturas del paisaje, supusieron la representación de la localización de esos datos en la superficie de la Tierra (los primeros mapas geográficos).

La necesidad de descubrir todos esos elementos físicos y espaciales hizo más común la actividad de campo con propósitos conectados a la prospección mineral, o bien cómo investigaciones teóricas sobre el origen de rocas, fósiles y la historia geológica regional.

Los trabajos mencionados de Hutton ejemplifican esos pasos y sirven de referencia para la enseñanza. Aunque sabemos que no hubo una secuencia lineal en las observaciones y razonamientos huttonianos, podemos ordenar una complejidad creciente durante la formación de los estudiantes.

Este trabajo ha sido realizado con estudiantes de universidad, pero sus directrices pueden ser aplicadas a otros niveles de enseñanza donde es necesario evaluar el desarrollo de la aprendizaje.

CONSIDERACIONES FINALES

El trabajo de campo realizado en la asignatura Ciencia del Sistema Tierra de la Unicamp, muestra la relevancia del campo en la enseñanza. Los trabajos de campo deben estar presentes en todas las etapas de enseñanza y aprendizaje, tal y como sucede en la propia construcción del conocimiento, por lo que deben estar integrados en el currículum. No pueden ser una parte aislada de las actividades de formación de las Geociencias. El trabajo realizado usó diferentes tipos de papeles didácticos de la actividad de campo (motivador e inductivo). Por medio de la combinación de esos papeles los estudiantes pueden comprender la dinámica de la investigación científica.

Conforme los alumnos avanzan en su trayectoria formativa hacia la Geología o la Geografía, las habilidades adquiridas en la asignatura Ciencia del Sis-

tema Tierra sirven de marco donde pueden añadir más informes y detalles que reciben en las múltiples asignaturas de los cursos. Sin embargo, las prácticas iniciales, la capacidad de observación y de interpretación de los fenómenos son puntos decisivos de la formación profesional. De hecho, defendemos que desde el inicio de los estudios, los alumnos deben recibir una idea completa e integrada del conocimiento de la Tierra.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los sucesivos grupos de estudiantes que de forma entusiasta participaron en las actividades de Ciencia del Sistema Tierra, sus opiniones y críticas fueron fundamentales para hacer la presente reflexión. Los autores reconocen, también, el trabajo de la traductora Ofelia Ortega Fraile que cuidadosamente preparó la versión en español de este texto. Finalmente, reconocemos la contribución del asesor científico anónimo cuyas sugerencias fueron importantes para hacer el texto más claro y más preciso.

BIBLIOGRAFÍA

Almeida F.F.M. de. (1948). A "roche moutonnée" de Salto, Estado de São Paulo. *Geologia e Metalurgia*, 5, 112-118.

Bach J., Brusi D., Domingo M., Obrador A. (1988). Propuesta de una metodología y jerarquización de las observaciones del trabajo de campo en geología. Univ. Alcalá, *Henares, Revista de Geología*, 2, 319-325.

Bailey, E.B. (1967). *James Hutton - the Founder of Modern Geology*. Elsevier Publishing Co. Ltd., Amsterdam.

Carneiro C.D.R. (1983). *Análise estrutural do Grupo São Roque na faixa entre o Pico do Jaraguá e a Serra das Cristais, SP*. Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo. Tese de doutorado.

Carneiro C.D.R. (2002). Cavas de Ouro Históricas do Jaraguá, SP. Os primórdios da mineração no Brasil. In: Schobbenhaus, C. et al. (Ed.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. DNPM/CPRM, Brasília.

Carneiro, C.D.R. et al. (2008). Docência e trabalhos de campo nas disciplinas Ciência do Sistema Terra I e II da Unicamp. *Revista Brasileira de Geociências*, 38.1, 130-142.

Compiani M., Carneiro C.D.R. (1993). Os papéis didáticos das excursões geológicas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1.2, 90-98.

Craig, G.Y. (1992). James Hutton's geological vocabulary. In: Naumann, B.; Plank, F.; Hofbauer, G. (Ed.). *Language and Earth*. John Benjamins Publishing Company, Amsterdam.

Craig, G.Y. (Ed.) (1978). *James Hutton's theory of the earth: the lost drawings*. Scottish Academic Press, Edinburgh.

Dean, D. (1981). The age of the earth controversy: beginnings to Hutton. *Annals of Science*, 38.4, 435-456.

Frodeman, R. (2004). Philosophy in the field. In: Folz, B.V.; Frodeman, R. (Ed.). *Rethinking nature: essays in environmental philosophy*. Indiana University Press, Bloomington.

- Gonçalves, P.W. (2004). La colección Huttoniana de minerales, rocas y fósiles: posibles papeles educativos para la enseñanza de las Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 12.2, 133-141.
- Gonçalves, P.W. (2008). James Hutton: cartas, viagens e prospecção mineral (Exemplo do uso de documentos para compreender a História da Ciência). *Circumscribere*, 5, 39-47.
- Guntau, M. (1978). The emergence of geology as scientific discipline. *History of Science*, 16, 280-290.
- Hutton, J. (1788). Theory of the earth; or an investigation of the laws observable in the composition, dissolution, and restoration of the land upon the globe. *Transactions of Royal Society of Edinburgh*, 1.2, 209-304.
- Hutton, J. (1899). *Theory of the earth, with proofs and illustrations*. Geological Society, London.
- Jones, Jean. (1984). The geological collection of James Hutton. *Annals of Science*, 41.3, 223-244.
- Kastens, K.A. (2009). How Students and Field Geologists Reason in Integrating Spatial Observations from Outcrops to Visualize a 3-D Geological Structure. *International Journal of Science Education*, 31.3, 365-393.
- Playfair, J. (1805). Biographical account of the late Dr. James Hutton. *Transactions of Royal Society of Edinburgh*, 5.3, 39-99.
- Potapova, M.S. (2008). Geologia como uma ciência histórica da natureza. *Terrae Didática*, 3.1, 86-90.
- Praia J.F. (1996). Epistemologia e historia de la ciencia: contribuciones a la planificación didáctica. La deriva continental. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4.1, 30-37.
- Rudwick, M.J.S. (2005). *Bursting the limits of time: the reconstruction of Geohistory in the Age of Revolution*. The University of Chicago Press, Chicago.
- Trend, R. (2009). Commentary: Fostering Students' Argumentation Skills in Geoscience Education. *Journal of Geoscience Education*, 57.4, 224-232. ■
- Este artículo fue solicitado desde E.C.T. el día 15 de septiembre de 2010 y aceptado definitivamente para su publicación el 20 de marzo de 2011.*