

REPÚBLICA ARGENTINA

# PANORAMA <sup>7</sup> de Mayo Día de la Minería MINERO

UNA ORGANIZACIÓN PERIODÍSTICA AL SERVICIO DE LA MINERÍA ARGENTINA  
AÑO XXXIX / EDICIÓN 438 - ABRIL 2016 - ISSN 0325 - 7207



V Seminario Internacional

## Litio en la Región de Sudamérica

Jujuy, sede del principal encuentro regional de la industria del litio

La minería argentina se congrega en San Juan



Se UNEN  
para organizar...

Ciudad de San Juan  
República Argentina

8 al 10 de Junio

2016

## VI Exposición Internacional

San Juan, Factor de Desarrollo de la Minería Argentina

[www.sanjuan-minera.com.ar](http://www.sanjuan-minera.com.ar)

Reserva de stands:

Patricia Lyons

[plyons@panorama-minero.com](mailto:plyons@panorama-minero.com)

Organizada por

PANORAMA <sup>7</sup> de Mayo  
MINERO



Sr. Serge Antoine Séguret

# Depósito de litio en acuífero profundo

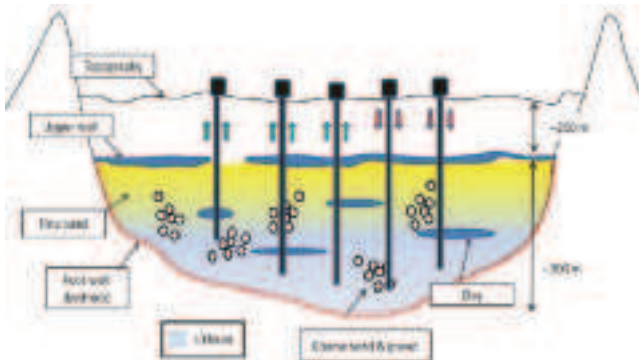
## De la evaluación de recursos al análisis de riesgos

Serge Antoine Séguret<sup>1</sup>, Mines ParisTech

1. Investigador en el Centro de Geoestadística fundado por Georges Matheron. Actividad principal: minas, junto con prestigiosos socios como CODELCO (Chile, cobre) o VALE (Brasil, hierro). Está desarrollando una metodología para un depósito de litio operado por Eramines SudAmerica. // Researcher at the Center for Geostatistics founded by Georges Matheron. Main activity, mine, together with prestigious partners as CODELCO (Chile, copper) or VALE (Brazil, iron). Is developing a methodology for a Lithium deposit operated by Eramines SudAmerica.

**Introducción:** evaluar el recurso drenable de litio en un acuífero es un verdadero desafío, porque no se puede separar la problemática de la cantidad de metal del contexto hidrogeológico. En base a un caso de estudio real, proponemos una metodología que encadena técnicas geostatísticas y simulaciones de bombeo de hidrogeología para evaluar distintos escenarios de bombeo y cuantificar las incertidumbres de tonelaje extraíble. Se presentan dos causas: la geometría del depósito y las incertidumbres respecto de las leyes.

El paso siguiente es tomar en cuenta las heterogeneidades espaciales en porosidad y permeabilidad.



*Introduction: evaluating the drainable Lithium resource in an aquifer is a real challenge because one cannot separate the problematic of metallic quantity from the hydrogeology context. Based on a real case-study, we propose a methodology that chains geostatistical techniques and hydrogeology pumping simulations, for evaluating different pumping scenarios and quantifying the extractible tonnage uncertainties. Two causes are presented: the deposit geometry and the grade uncertainties.*

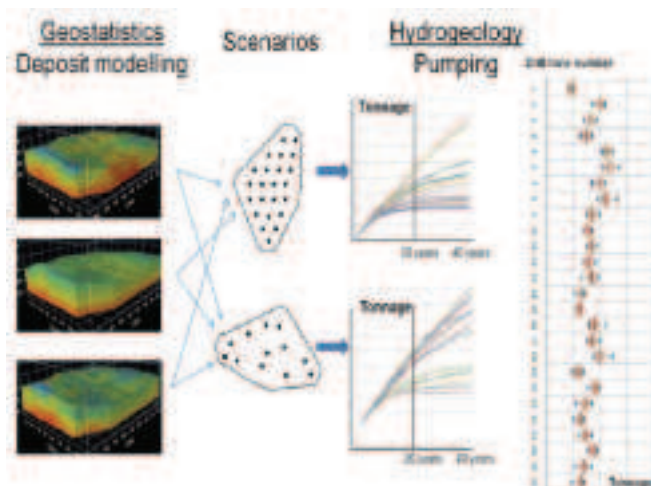
*The following step is taking into account the porosity and permeability spatial heterogeneities.*

*The context is a salar located 200m under the surface with a 300m thickness before reaching the bedrock. Questions are: where does the deposit starts and ends, what about the behavior of the grades in 3D, where must be located the extracting drill holes and the reinjection ones and how many?*

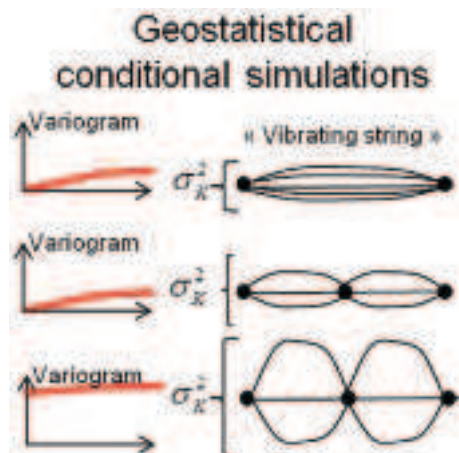
*Tested on a real deposit, the method consists on chaining different deposit*



El contexto es un salar ubicado 200m debajo de la superficie, con un espesor de 300m antes de llegar al lecho rocoso. Las preguntas son: ¿dónde comienza y dónde termina el depósito?, ¿qué sucede con el comportamiento de las leyes en 3D?, ¿dónde deben ubicarse los orificios de perforación para extracción y los de reinyección, y cuántos debe haber?



El método, probado en un depósito real, consiste en encadenar distintos modelos de depósitos (todos equivalentes según los datos), con escenarios de implantación de orificios de perforación y simulaciones de bombeo, para plotear curvas de litio extraído a lo largo del tiempo (hasta 40 años). Las desviaciones estándar en torno a los tonelajes representan el riesgo. Si es demasiado importante, se requieren datos complementarios.



*modelling (all equivalent given the data), with implantation drill holes scenarios and pumping simulations, to plot curves of extracted Lithium along the time (up to 40 years). The standard deviations around the tonnages represent the risk. If it is too important, complementary data are required.*

*Geostatistical simulations are like vibrating strings: when you are close to a measurement at a node, the possible value must be close to this value while when you are far from the node, the range of possibilities increase with a magnitude given by the variogram which characterize the data. Given the statistics, the string "vibrates" a lot or not.*

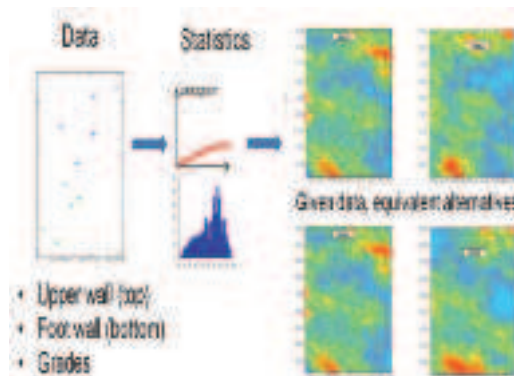
*Equivalent images are generated, which produce the characteristic statistics deduced from the data. Simulations share the same values at the data points (crosses on the figures). Current illustrations show the top and the bottom of the deposit, and the 3D grades. The procedure can handle any source of uncertainty (measurement errors, seasonality, link between salt and Lithium grades, porosity, permeability).*

*For the top and the bottom of the deposit, around 40 CSAMT measurements are used to cover a 10 by 6 km<sup>2</sup> domain. Left map represents the average behavior of the top; it is used for the drill holes implantation optimization. Right maps represent equivalent simulations of the top; they are used for the uncertainty evaluation and the resulting risk on the tonnages.*

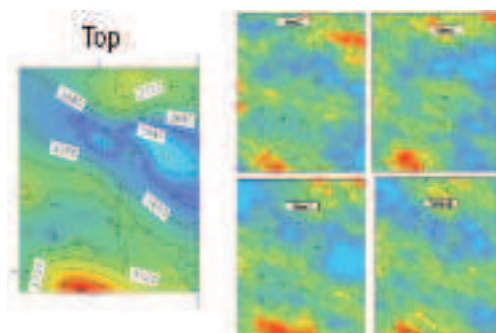
*For the grades modelling, around 60 bailer measurements are used. The model incorporates the well known fluctuations inherent to such measures and the simulations not only produce realistic grades, but also mimic measurement errors. Left image is the average behavior, right images equivalent simulations, conditionality to the data.*

*The independency of the different identified parameters has been verified and it becomes possible to do few simulations for each parameter for obtaining an important amount of con-*

Las simulaciones geoestadísticas son como cuerdas que vibran: cuando uno está cerca de una medición en un nodo, el valor posible debe ser cercano a ese valor, mientras que cuando se está lejos del nodo, el rango de posibilidades aumenta con una magnitud dada por el variograma, que caracteriza los datos. Según las estadísticas, la cuerda "vibra" mucho o no.



Se generan imágenes equivalentes, que producen los datos estadísticos característicos deducidos de los datos. Las simulaciones comparten los mismos valores en los puntos de datos (cruces en las figuras). Las ilustraciones actuales muestran la parte superior y la parte inferior del depósito, y las leyes 3D. El procedimiento puede manejar cualquier fuente de incertidumbre (errores de medición, estacionalidad, vínculo entre sal y leyes de litio, porosidad, permeabilidad).



Para la parte superior e inferior del depósito se usan mediciones de alrededor de 40 CSAMT para cubrir un área de 10 por 6 km<sup>2</sup>. El mapa de la izquierda representa el comportamiento promedio en la parte superior; se utiliza para optimizar la implantación de los orificios de perforación. Los mapas de la derecha representan simulaciones equivalentes en la parte superior; son empleadas para la evaluación de

*figurations.*

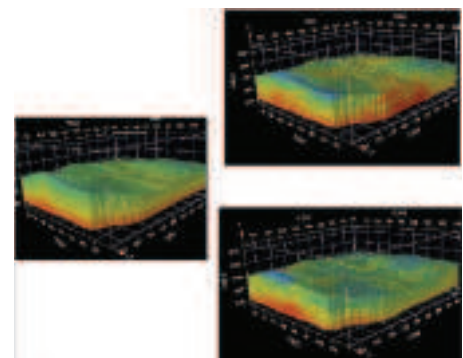
*The domain is divided into finite elements with a variable mesh to emphasize drill holes scenarios and the volumes are informed by geostatistical and hydrogeological inputs. Tonnage curves by hole are produced, as well as cumulated tonnages up to 40 years. The standard deviations around these tonnages quantify the risks. One can use any commercial software; we use our code for its good flexibility to the geostatistical outputs.*

*The results are given to the economist who quantifies the costs and profits and establishes a hierarchy between the scenarios. Decisions are made for complementary measurement campaigns, a new virtuous loop is initiated.*

*The work is in progress. We are actually modelling the spatial heterogeneities of porosity and permeability by using facies simulations, a geostatistical technique coming from the petroleum industry.*

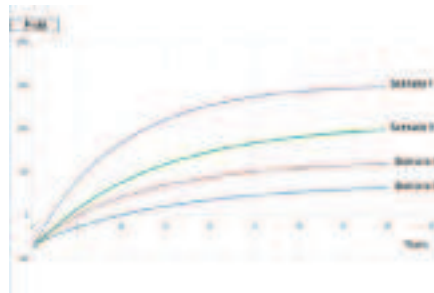
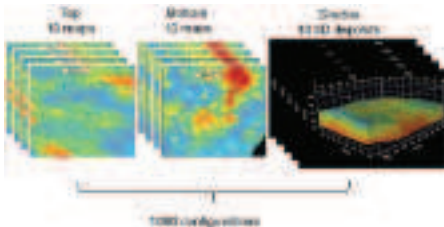
*The next important step will be the reconciliation (called "history matching" in the petroleum industry): using geostatistics upstream, together with hydrogeology, gives many "potentiometers" for fitting simulated tonnage curves to production ones.*

incertidumbre y el riesgo resultante en los tonelajes.



Para el modelado de leyes, se usan alrededor de 60 mediciones con cucharas de sondeo. El modelo incorpora las fluctuaciones bien conocidas, que son inherentes

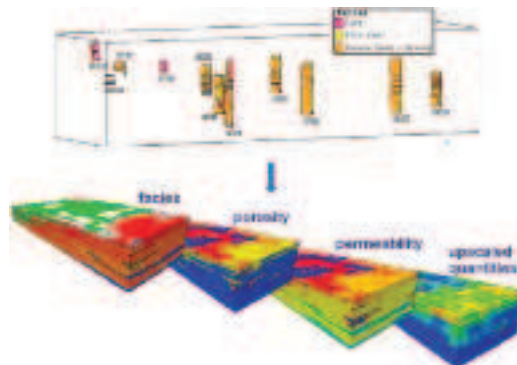
a tales mediciones, y las simulaciones no sólo producen leyes realistas, sino que también simulan errores de medición. La imagen de la izquierda es el comportamiento promedio; las imágenes de la derecha son simulaciones equivalentes, condicionales a los datos.



Los resultados son entregados al economista que cuantifica los costos y utilidades y establece una jerarquía entre los escenarios. Se toman decisiones respecto de campañas de mediciones complementarias, y se inicia un nuevo círculo virtuoso.

Se verificó la independencia de los distintos parámetros identificados y es posible hacer unas pocas simulaciones para cada parámetro, para obtener una cantidad importante de configuraciones.

El trabajo está en curso. En realidad esta-



El área es dividida en elementos finitos con una grilla variable, para enfatizar los escenarios de orificios de perforación; los volúmenes son informados por datos geoestadísticos e hidrogeológicos. Se generan curvas de tonelaje por orificio, y también tonelajes acumulados hasta 40 años. Las desviaciones estándar en torno a estos tonelajes cuantifican los riesgos. Se puede usar cualquier software comercial; nosotros usamos nuestro código por su buena flexibilidad para los resultados geoestadísticos.

mos modelando las heterogeneidades espaciales de porosidad y permeabilidad utilizando simulaciones de facies, una técnica geoestadística que proviene de la industria del petróleo.

El próximo paso importante será la conciliación (llamada "cotejo de historial" en la industria del petróleo): el uso de geoestadística upstream, junto con hidrogeología, ofrece muchos "potenciómetros" para adaptar las curvas simuladas de tonelaje a las de producción. 🏔️

## CABLES DE ACERO PARA MINERÍA DE SUPERFICIE

Diseñados y fabricados para garantizar la mejor performance bajo condiciones extremas.

[www.iphglobal.com](http://www.iphglobal.com)

IPH