

PROSPECCIÓN GEOELÉCTRICA

Unidad 4 · Geofísica



Cátedra de Geofísica · Tercer año
Facultad de Ingeniería · Universidad Nacional de Jujuy
Licenciatura en Ciencias Geológicas

Diferenciar métodos de campo natural, corriente continua, electromagnéticos, IP y GPR.

Comprender resistividad, conductividad, cargabilidad y permitividad dieléctrica.

Diseñar dispositivos tetraelectródicos, dipolares y sondeos eléctricos verticales.

Aplicar geoeléctrica a agua, minería, ambiente, geotecnia y salares.



Imagen de contexto

La geoeléctrica explora cómo el subsuelo conduce, carga o transmite energía electromagnética.

Los métodos geoeléctricos y electromagnéticos miden resistividad, conductividad, cargabilidad y respuesta dieléctrica para inferir agua, arcillas, sulfuros, salinidad y estructuras.

Resistividad

Oposición del material al paso de corriente eléctrica.

Conductividad

Facilidad de conducción; alta en salmueras, arcillas y sulfuros.

SP

Potencial espontáneo natural asociado a electroquímica o flujo.

SEV

Sondeo eléctrico vertical para variación con profundidad.

IP

Polarización inducida: capacidad de almacenar carga.

GPR

Radar de penetración: propagación de ondas EM someras.

Lo que mide el método

Diferencias de potencial generadas natural o artificialmente.

Resistividad aparente, cargabilidad, fase o respuesta transitoria.

Velocidad/atenuación de ondas radar en materiales someros.

Lo que interpreta la geología

Zonas conductivas: salmueras, arcillas, sulfuros, contaminación.

Contrastes resistivos: basamento, roca sana, cavidades secas.

Interfaces someras, humedad, fracturas y geometrías de acuíferos.

Regla didáctica: propiedad física + geometría + contexto geológico



Propiedad	Método asociado	Contraste buscado	Ejemplo
Resistividad	CC, ERT, SEV	Agua/salinidad/litología	Acuíferos, basamento
Conductividad	EM, TEM, MT/AMT	Salmueras, arcillas, sulfuros	Salares, VMS
Cargabilidad	IP	Polarización mineral/superficie	Sulfuros diseminados
Permitividad	GPR	Velocidad radar	Capas someras, objetos
Potencial natural	SP	Gradiente electroquímico	Sulfuros, flujo de agua

La utilidad prospectiva aparece cuando el contraste físico es suficiente respecto del ruido y la escala del objetivo.

Magnitudes eléctricas

$$\rho = R \cdot A / L$$

$$\sigma = 1 / \rho$$

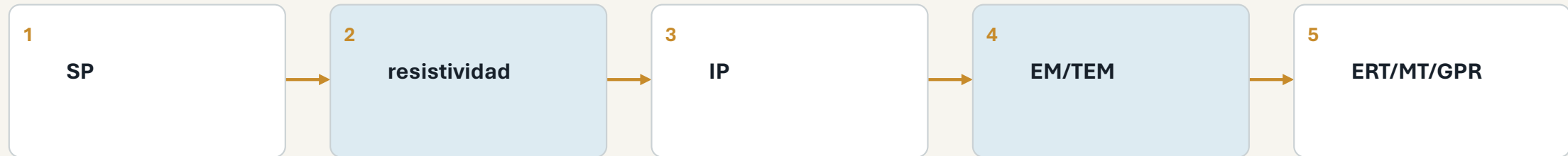
$$\rho_a = K \cdot \Delta V / I$$

$$IP: M = \int V(t) dt / V_p$$



Relación dato-modelo

La resistividad aparente no es la resistividad real: depende de geometría, arreglo y distribución del subsuelo.



Los métodos eléctricos evolucionaron desde potencial natural y corriente continua hasta tomografía eléctrica, electromagnetismo transitorio y magnetotelúrica.
El procesamiento moderno permite inversión 2D/3D, aunque depende mucho de contacto eléctrico y ruido cultural.

Escala y plataforma

Campo natural: SP, telúrico, magnetotelúrico.

Corriente continua: Wenner, Schlumberger, dipolo–dipolo, polo–dipolo.

Electromagnéticos: FDEM, TDEM, Turam, Slingram, AMT/MT.

Radar: GPR para escala somera de alta resolución.

Diseño de levantamiento

Elegir arreglo según objetivo: profundidad, resolución lateral y sensibilidad.

Controlar contacto eléctrico, topografía y ruido cultural.

Definir separación de electrodos o loops según profundidad esperada.

Planificar líneas cruzadas para reducir ambigüedad.

Resistivímetro/IP con electrodos, cables, baterías y switch box.
Transmisor y receptor EM, bobinas, loops o sistema TEM.
Magnetotelúrico: sensores eléctricos y magnéticos.
GPR: antenas de distinta frecuencia y odómetro/GPS.



Trabajo de campo

La calibración, la repetibilidad y el registro de metadatos son tan importantes como la medición.

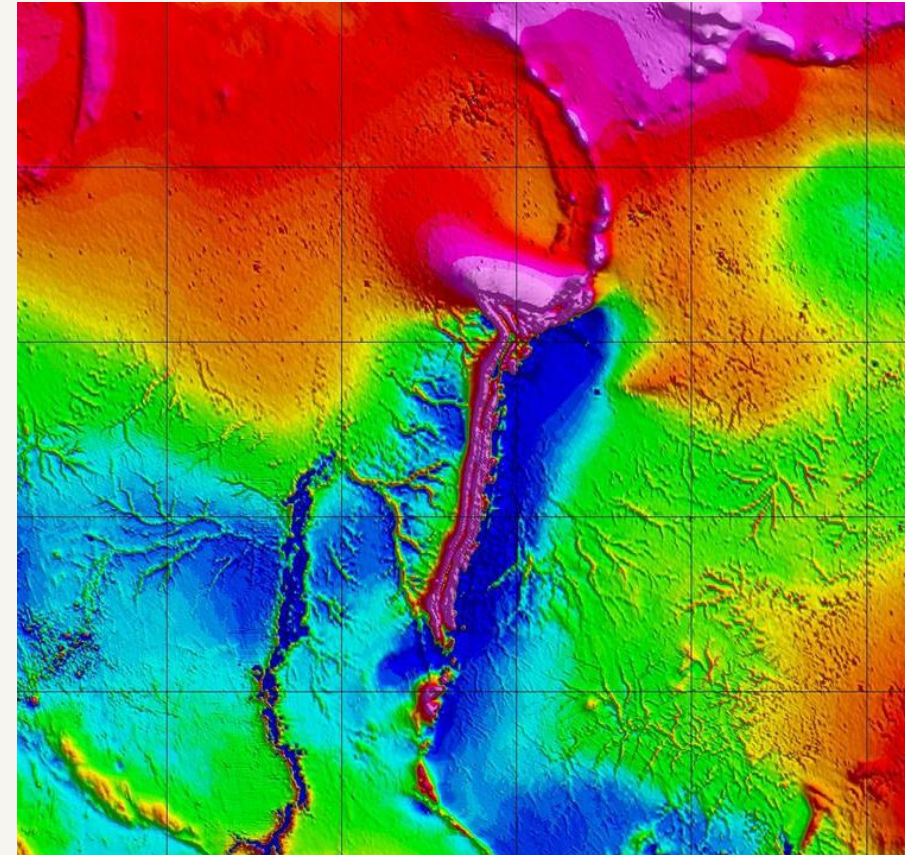


Verificar contacto de electrodos y resistencia de tierra.
Registrar topografía, humedad, temperatura y fuentes culturales.
Repetir lecturas con alto error o baja corriente.
Controlar acoplamiento inductivo y cables paralelos en IP/ERT.



Corrección	Problema que reduce	Comentario
Factor geométrico K	Arreglo de electrodos	Convierte $\Delta V/I$ a pa
Topografía	Distorsión de geometría	Crítica en ERT
Contacto	Alta resistencia de electrodos	Sales/agua/bentonita
Ruido cultural	Líneas eléctricas/cercos	Filtrado y horarios
Drift/SP base	Variación natural	Repetición y referencia

Edición de lecturas con error alto.
Cálculo de resistividad aparente o respuesta EM.
Inversión 1D, 2D o 3D con topografía.
Integración de modelos con geología, pozos y conductividad de muestras.



Mapas, perfiles y modelos

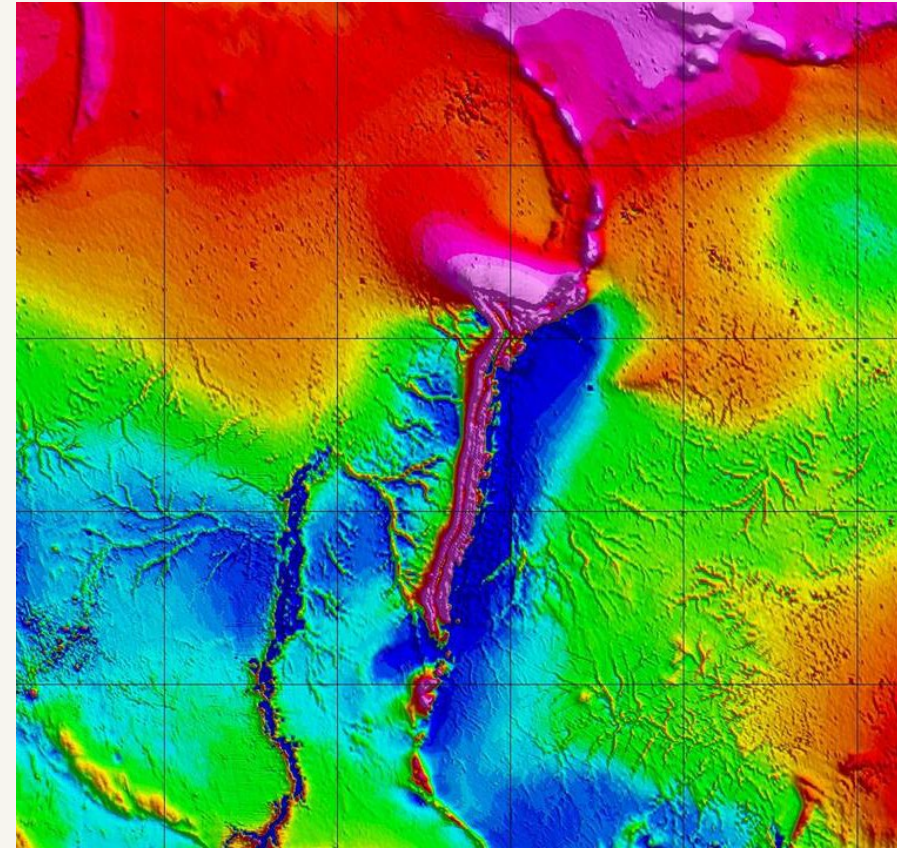
Objetivo: pasar de dato crudo a modelo interpretable

Una anomalía geoeléctrica es una variación de resistividad, conductividad, cargabilidad o potencial respecto del entorno esperado.

Conductivo no significa siempre mineralizado: puede ser arcilla, agua salina o infraestructura.

Resistivo puede ser roca sana, seco, sílice o cavidad.

IP ayuda a discriminar sulfuros diseminados de conductores puramente electrolíticos.

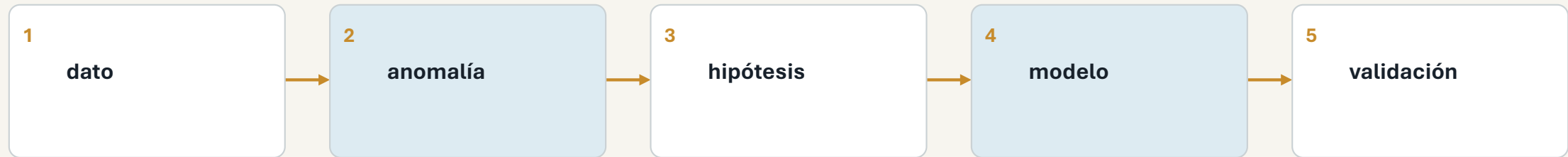


Anomalía como contraste medible

Anomalía $\neq$ mineralización automática



Producto	Qué muestra	Uso geológico
Curva SEV	pa vs AB/2	Capas horizontales
Sección ERT	Modelo 2D resistivo	Acuíferos, fallas, basamento
Sección IP	Cargabilidad	Sulfuros/arcillas
Mapa EM/TEM	Conductividad	Salmueras, conductores



Identificar patrones resistivos/conductivos compatibles con litología y fluidos.
No interpretar conductividad sin considerar salinidad, arcillas y humedad.
Usar IP, geoquímica y geología para discriminar sulfuros.
Validar con pozos, calicatas, conductividad de agua o perforación.

Sulfuros masivos o disseminados con EM/IP.
Alteración argílica y silicificación mediante resistividad.
Salmueras de litio: conductividad en cuencas evaporíticas.
Estructuras y zonas de fractura que controlan fluidos.



Exploración de recursos

Espesor de relleno y geometría de acuíferos.
Salmueras, agua dulce/salada y arcillas conductivas.
Magnetotelúrica para estructuras profundas.
Complemento de sísmica y gravimetría en cuencas.



Cuencas sedimentarias

Plumas de contaminación conductivas.
Rellenos sanitarios, lixiviados y humedad.
Cavidades, cañerías, servicios enterrados y arqueología con GPR.
Evaluación geotécnica de fundaciones y taludes.



Subsuelo somero

Conviene cuando...

Existe contraste de resistividad/conductividad claro.
Objetivos someros a intermedios o conductores.
Se puede desplegar cables/electrodos/loops.
Interesa diferenciar agua, arcilla, salmuera o sulfuros.

Conviene ser prudente cuando...

Terreno muy seco o roca sin contacto eléctrico.
Ruido de líneas eléctricas, cercos, tuberías.
Equivalencia en modelos 1D/2D.
GPR en suelos muy conductivos o húmedos.

Ambigüedad entre causas conductivas.
Profundidad limitada por arreglo, energía y ruido.
Inversión dependiente de modelo inicial y regularización.
Contactos eléctricos deficientes pueden dominar el dato.



Incertidumbre de interpretación

La no unicidad se reduce integrando información independiente

Geología

Define capas, fallas, acuíferos y alteraciones plausibles.

Geoquímica

Distingue mineralización de arcillas/salinidad con química y petrografía.

Geofísica

Aporta continuidad eléctrica y geometría de fluidos bajo cubierta.

La geoeléctrica es excelente para fluidos y conductores, pero exige controles para no confundir agua, arcillas y mineralización.

Salares de la Puna: TEM/ERT/MT para salmueras y geometría de cuencas.

Valles intermontanos: acuíferos y basamento con SEV/ERT.

Minería metalífera: IP para sulfuros diseminados.

Obras y ambiente: GPR/ERT para servicios, cavidades y contaminación.

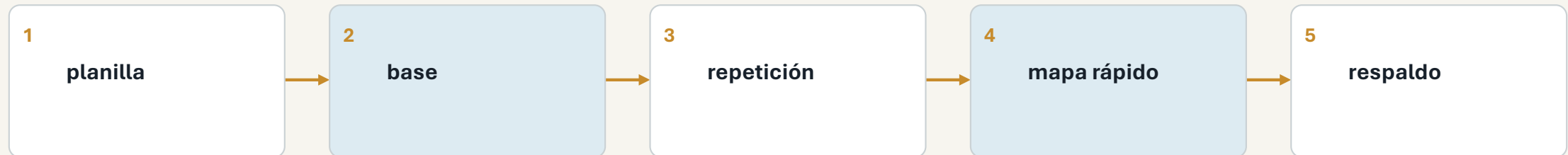


Contexto andino



Etapas	Decisiones clave	Entregables
Diseño	Arreglo y espaciamiento	Pseudo-sección esperada
Campo	Contacto y ruido	Datos QC
Inversión	Modelo y restricciones	Sección 2D/3D
Validación	Pozos/muestras	Interpretación final

Medir resistencia de contacto.
Repetir puntos con error alto.
Controlar polaridad y continuidad de cables.
Registrar cercos, líneas eléctricas, humedad y temperatura.
Guardar archivo de configuración del arreglo.



Riesgo eléctrico: señalar, capacitar y controlar energía.
Cuidado con tormentas, humedad y cables largos.
Permisos para tender líneas y cruzar caminos.
Evitar afectar fauna, vegetación y sitios culturales.



Trabajo con comunidades y equipos

Diseñar un SEV/ERT para acuífero

Objetivo: detectar basamento y zona saturada a 80 m.
Elegir arreglo, separación máxima y longitud de línea.
Definir controles de contacto y topografía.
Indicar ambigüedades esperables.

Producto esperado

Diseño de línea o arreglo.
Justificación de profundidad.
Lista de QA/QC.
Dato complementario a solicitar.

Trabajo en grupos de 3–4 estudiantes



Tema	Idea central	Pregunta crítica
Resistividad	Contraste eléctrico	¿Qué conduce la corriente?
IP/EM	Carga y conductividad	¿Sulfuros, arcillas o salinidad?
GPR	Alta resolución somera	¿El suelo atenúa la señal?
Aplicación	Agua, minería, ambiente	¿Cómo se validará?

Bibliografía indicada en el programa y textos históricos de consulta

Autor / evento	Título	Editorial	Año
Udías y Mezcua	Fundamentos de Geofísica	Alianza	1997
Parasnis y Orellana	Geofísica Minera	Paraninfo	1971
V. Olhovich	Curso de Sismología Aplicada	Reverté	1959
Siñeriz, J. G.	Interpretación geológica de mediciones geofísicas	Inst. Geol. Min. Madrid	1949
Howell, B. F.	Introducción a la geofísica	Omega	1962
SEGEMAR / congresos	Actas y publicaciones geológicas y geofísicas	SEGEMAR / AGA / UNLP	1995–1999

Uso recomendado: contexto, fundamentos y terminología clásica

Fuentes modernas sugeridas para actualizar la clase

Telford, W. M.; Geldart, L. P.; Sheriff, R. E. (1990). Applied Geophysics, 2nd ed. Cambridge University Press.

Kearey, P.; Brooks, M.; Hill, I. (2002). An Introduction to Geophysical Exploration, 3rd ed. Blackwell Science/Wiley.

Reynolds, J. M. (2011). An Introduction to Applied and Environmental Geophysics, 2nd ed. Wiley-Blackwell.

Milsom, J.; Eriksen, A. (2011). Field Geophysics, 4th ed. Wiley.

Society of Exploration Geophysicists, SEG Wiki: términos y conceptos de geofísica de exploración.

USGS Circular 1310: uso de geofísica superficial para caracterizar el subsuelo.

SEGEMAR: repositorio de levantamientos geofísicos, magnetometría y espectrometría gamma en Argentina.

FI UNJu: página oficial y recursos institucionales de logos.

Ward, S. H.; Hohmann, G. W. (1988). Electromagnetic Theory for Geophysical Applications.

SEG Investigations in Geophysics.

Nabighian, M. N. (ed.) (1988/1991). Electromagnetic Methods in Applied Geophysics. SEG. Geoscience Australia / USGS: guías de métodos eléctricos y electromagnéticos aplicados.



Figura de apoyo didáctico

Criterio de actualización

Combinar textos clásicos en español con manuales modernos de geofísica aplicada.

Priorizar fuentes institucionales para procedimientos, datos y definiciones operativas.

Usar la bibliografía digital como apoyo, no como reemplazo del trabajo de campo y gabinete.

Tres ideas para llevarse

Resistividad aparente no es resistividad real.

Conductividad puede responder a agua, salinidad, arcilla, sulfuros o infraestructura.

El éxito depende de contacto eléctrico, control de ruido e integración geológica.



Preguntas guía para el próximo encuentro

¿Qué método usarían en un salar y por qué?

¿Cómo diferenciar arcillas de sulfuros?

¿Cuándo no conviene usar GPR?

Cátedra de Geofísica · FI UNJu
Licenciatura en Ciencias Geológicas · 3er
año

Siguiente paso: práctica con datos, perfiles y mapas