



MODELOS DE ELEVACIÓN

Guía N°1 - Trabajo Práctico Integrador
Aprovechamientos Hidráulicos (2026)

Integrantes de la Cátedra

- Ing. Juan Carlos Cacciavillani
- Ing. Diego Fabián
- Ing. Juan Pablo Flores



1. INTRODUCCIÓN

En la práctica profesional, cuando a una consultoría se le encarga evaluar un aprovechamiento hidroeléctrico, muchas veces el pedido llega sin un estudio topográfico propio del lugar. Solicitar un relevamiento de campo o un vuelo fotogramétrico implica tiempo y costos que no siempre están justificados en una etapa tan temprana.

Para esos casos existen herramientas de acceso público, como los modelos digitales de elevación y las imágenes satelitales, que permiten armar un estudio de prefactibilidad rápido, con una inversión mucho menor, y con precisión suficiente para saber si vale la pena avanzar a etapas de mayor detalle.

1.1. Objetivos de la guía

La meta final es construir las curvas altura-área y altura-volumen del vaso del embalse del aprovechamiento hidroeléctrico con el que se trabajará durante el trabajo práctico integrador. Estas dos curvas son la base sobre la que se apoyan casi todas las decisiones posteriores del proyecto, empezando por la definición de los niveles de operación del embalse.

Para ello, se delimitará un área de trabajo apropiada para el estudio de un futuro embalse, para posteriormente procesar un modelo digital de elevación de acceso público y obtener un plano de curvas de nivel. A partir del mismo modelo, se podrán armar las curvas hipsométricas.

1.2. Ubicación de un embalse

Si bien generalmente se puede tener como premisa la ubicación estimada de un embalse, es útil repasar algunos criterios básicos para reconocer el mejor lugar donde emplazar el cierre, partiendo únicamente de información satelital o de un modelo de elevación.

Esta elección debería estar supeditada a la función del embalse, que generalmente es más de una. Si es parte de una cascada de presas, puede que solo sirva a la generación energética; en ese caso, puede bastar con un dique y una cámara de carga aguas abajo hasta ganar salto. Si está destinado al abastecimiento de agua para riego, el volumen que se necesita embalsar depende de las curvas de oferta y demanda e incluso puede que no haga falta embalsar mucho. Si cumple un rol regulador, deberá contemplar un volumen extra para laminar crecidas y otro para el depósito de sedimentos que se acumule con el paso del tiempo.

Dicho esto, el lugar ideal suele ser un cierre angosto del cañón con un valle amplio aguas arriba: esta combinación maximiza el volumen embalsado por metro construido de presa, es decir, el mejor equilibrio posible entre costo y capacidad. Esto también dependerá de las condiciones geológicas del terreno, pero ese análisis queda para una etapa de estudio posterior.

Otra condición deseable, sobre todo en embalses de montaña como el del ejercicio, es una pendiente longitudinal del río pronunciada: permite ganar salto hidráulico suficiente como para justificar un tramo más largo de galería y tubería forzada. Conviene trazar un perfil longitudinal del río para identificar estos tramos, ya que dentro de un mismo cauce suele haber sectores marcadamente más empinados que otros, y son esos los que conviene aprovechar.



1.3. Software requerido

Además del paquete Office, en el que se usará Excel para los cálculos y Word para la presentación de informes, o su copia colaborativa de Google Drive, será necesario instalar algunos programas en las computadoras personales a fin de desarrollar el trabajo práctico integrador.

Desde ya, será necesaria la instalación de AutoCAD o, preferentemente, Civil3D, para la elaboración de planos. Se puede descargar la versión de estudiante desde la página de Autodesk, cargando un certificado de regularidad emitido por la facultad.

Para este trabajo también será necesario descargar QGIS. Es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de código abierto, usado para procesar el modelo de elevación, generar curvas de nivel y calcular las curvas altura-área. Se descarga desde qgis.org/download, su página oficial. Se recomienda instalar la versión identificada como 3.44 LTR (Long Term Release).

Vale la pena mencionar que las inteligencias artificiales son una buena herramienta para aprender a usar un software. En general tienen una idea clara de la secuencia lógica a seguir, aunque a veces se equivocan en los nombres exactos de los comandos si la versión instalada es muy distinta a la que conocen. Aun así, suelen ser un buen punto de partida.

2. MODELOS DE ELEVACIÓN

2.1. Conceptos básicos

Un SIG es un sistema de información capaz de almacenar, editar, analizar y mostrar información que está referenciada geográficamente, con el objetivo de servir de soporte para la toma de decisiones. La particularidad de este sistema es que cada dato lleva asociada una ubicación en el espacio, lo que permite analizar relaciones espaciales entre distintos fenómenos: modelos de elevación, como el que se usará en esta guía, pero también aplicaciones tan distintas como el catastro urbano de un municipio o el seguimiento de la dispersión de una epidemia, por ejemplo.

Un modelo de elevación es una tabla de valores de altura referidos a alguna superficie de comparación: el elipsoide (geoide) de la Tierra. Pasar de una superficie curva a un plano implica siempre alguna deformación. Según qué propiedad preserven, las proyecciones se clasifican en conformes (preservan formas), equidistantes e isoareales (preservan áreas, deformando las formas); y según su geometría de construcción, en planas, cónicas o cilíndricas.

Argentina utiliza oficialmente la proyección Gauss-Krüger (cilíndrica conforme), dividida en 7 fajas de 3° de longitud cada una, referida al datum POSGAR (Posiciones Geodésicas Argentinas, basado en el elipsoide WGS84). Mendoza cae mayormente en la Faja 2 (meridiano central en 69°O), aunque un proyecto futuro podría caer fuera de esta zona.

El Instituto Geográfico Nacional (IGN) es el organismo del Estado argentino responsable de la cartografía oficial del país. Entre sus productos de descarga gratuita está el Modelo Digital de Elevaciones de todo el país (MDE-Ar v2.1), con resolución espacial de 30 metros y precisión vertical aproximada de 2 metros.

En algunas zonas del país, generalmente valles con mayor densidad de población, el IGN ofrece además modelos de mayor resolución (5 metros, e incluso 0,5 metros en sectores puntuales relevados con mayor detalle), como puede verse en el selector de capas de la Figura 2.

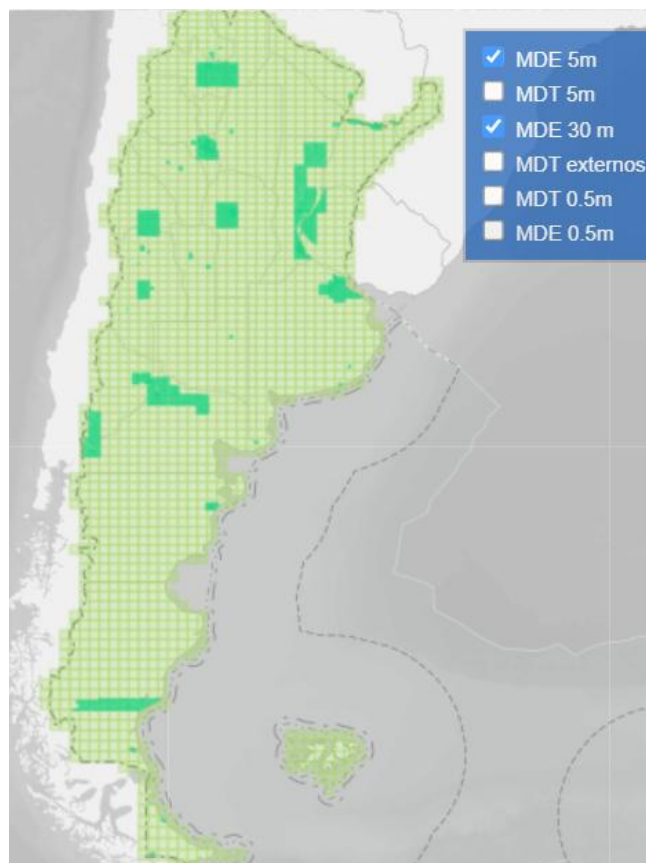
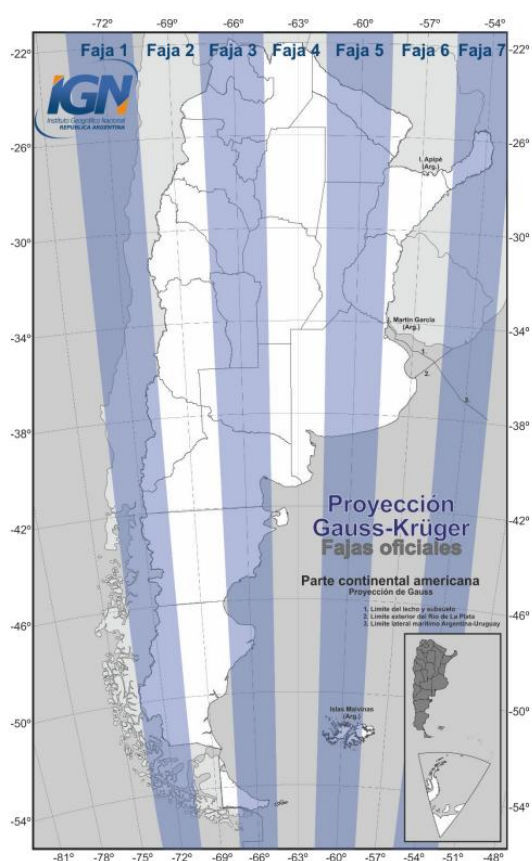


Figura 1. Proyección oficial de la Argentina. Figura 2. Modelos de elevación disponibles (IGN).

Además del IGN, existen otras fuentes globales y gratuitas de modelos de elevación: el SRTM y el NASADEM de la NASA o el Copernicus DEM de la ESA. Puede que sean más precisos pero el del MDE-Ar ya viene referido al POSGAR, lo que evita tener que reproyectar y validar el dato de otra fuente; las opciones internacionales quedan como alternativa para zonas sin cobertura del IGN.

2.2. Descargar el modelo desde el IGN

El modelo de elevación se puede descargar en la siguiente página. Es de libre acceso y cubre todo el territorio nacional.

<https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/ModeloDigitalElevaciones/Mapa>

Se deberá ubicar el área de trabajo en el mapa, a ojo. Se puede hacer zoom para identificar ciudades, rutas o ríos que sirvan de referencia. Una vez preseleccionado el rectángulo de interés, se hace clic sobre el mismo y se descarga el modelo, que debería llegar como una carpeta comprimida con un archivo en formato .img. Conviene extraerlo de la carpeta comprimida para poder importarlo más fácilmente después.



El MDE-Ar se descarga en celdas, recortadas en hojas cartográficas 1:100.000, que muchas veces quedan chicas con relación al área que ocupa un embalse completo. Por este motivo, es posible necesitar más de una si el sector de interés cae sobre un borde, o simplemente si no se está del todo seguro de dónde cae exactamente la zona de trabajo. No hay problema en descargar de más: luego se combinan en QGIS sin inconvenientes.

2.3. Delimitar el área de trabajo con Google Earth Pro

Para definir aproximadamente el sector de interés no es necesario delimitar toda la cuenca hidrológica del río. Es suficiente trazar un polígono que incluya el eje de la futura presa y el vaso previsto aguas arriba, considerando una altura de presa tentativa.

La herramienta que calcula las curvas cota-área utiliza directamente este polígono como límite de análisis. Por eso, es importante evitar que queden incluidos sectores pertenecientes a una cuenca distinta de la presa. Una delimitación aproximada, apoyada en los criterios vistos en materias previas, debería ser suficiente para esta etapa.

Para ello, abrir Google Earth Pro y localizar la zona de interés. Identificar visualmente el curso del río, el cañón donde se apoyaría el cierre y la amplitud del valle aguas arriba. Luego, con la herramienta de polígono, dibujar una polilínea que cubra ese sector con un margen razonable. Cambiar el nombre del elemento a «Vaso Embalse» y guardar. Para exportarlo, hacer clic derecho en el archivo en el panel «Lugares» → «Guardar lugar como...» → «Formato .kmz».

3. PROCESAMIENTO

3.1. Softwares disponibles

El programa a utilizar en esta guía será QGIS, no solo por ser de libre acceso sino también por la cantidad de tutoriales disponibles. Además de permitir generar curvas de nivel a partir de un modelo de elevación, es capaz de delimitar cuencas, calcular caudales por métodos indirectos, diseñar mapas para imprimir o publicar en la web, y un sinfín de tareas adicionales a través de complementos (plugins) hechos por la comunidad.

Existen también programas comerciales con objetivos similares. Global Mapper, por ejemplo, permite la generación de curvas de nivel y cálculos volumétricos con una curva de aprendizaje algo más suave que QGIS en esas tareas puntuales. ArcGIS, otro de uso corriente, ofrece un sistema más integrado de análisis espacial y mejor soporte comercial. Ambos requieren licencia paga, mientras que QGIS es gratuito y de código abierto.

3.2. Curvas de nivel en QGIS

En primer lugar, se abre el programa y se crea un proyecto nuevo. Abajo a la derecha, en la esquina de la ventana, aparece un indicador con «EPSG:4326». Al hacer clic ahí, se abre el selector de sistema de referencia; en el campo «Filtrar», hay que escribir «5344» y seleccionar «POSGAR 2007 / Argentina 2». Aplicar y aceptar. Este paso es importante para no distorsionar las áreas que se usarán después en las curvas hipsométricas.

En segundo lugar, se va a incorporar una imagen satelital de referencia. Para ello, ingresar en «Complementos», en el menú superior, luego «Administrar e instalar complementos», buscar «NextGIS QuickMapServices» e instalarlo. Una vez instalado, se ingresa a «Web» en el menú superior, después a «QuickMapServices», y finalmente se elige una capa como fondo visual. Se recomienda «Google Satellite», la misma imagen de Google Earth, aunque hay otras opciones.

Una vez que ya se tiene el mapa de fondo, se procede a cargar los MDE descargados desde el IGN. Para eso, ir a «Capa» en el menú superior → «Añadir capa» → «Añadir capa ráster». Se hace clic en los tres puntos del campo «Fuente» para buscar y seleccionar el archivo .img.

En caso de haber descargado más de una celda, se cargan todas y conviene fusionarlas en un único ráster: ir a «Ráster» en el menú superior → «Miscellaneous» → «Combinar». Se seleccionan las capas de los modelos de elevación como entrada, se deja el resto de las opciones por defecto, y se genera una nueva capa combinada. Las capas originales pueden ocultarse o eliminarse después sin ningún problema: la capa fusionada es un archivo nuevo e independiente, así que borrar las originales no la afecta.

Haciendo clic sobre la capa combinada se puede modificar su apariencia (por ejemplo, aplicar una rampa de color por elevación). Vale la pena compararla visualmente con la imagen satelital de fondo, para confirmar que no quedó desplazada y que el vaso no quedó incompleto.

Finalmente, veamos los pasos para extraer las curvas de nivel. En el menú superior, ir a «Ráster» → «Extraction» → «Curvas de nivel». En la capa de entrada se selecciona el archivo combinado (o el modelo de elevación correspondiente, si solo se descargó una celda), banda 1. Se define el intervalo entre curvas de nivel en 10m, aunque sería razonable usar 25m para relieve de cordillera teniendo en cuenta la precisión del modelo de elevación.

Se ejecuta y aparece una nueva capa vectorial de curvas de nivel. Para exportar estas curvas a AutoCAD, se hace clic derecho sobre la capa → «Exportar» → «Guardar objetos como...», se elige el formato «AutoCAD DXF», el nombre del archivo y el SRC del proyecto (EPSG:5344). También podría exportarse a otros formatos útiles, como .kml, para superponerlo en Google Earth.

4. CURVAS HIPSOMÉTRICAS

Con las curvas de nivel ya generadas, se cuenta con toda la información necesaria para construir la curva altura-área del futuro embalse: el área de terreno encerrada por cada curva de nivel es, precisamente, la superficie que quedaría inundada si el agua llegara a esa cota.

El problema es que hacerlo midiendo el área encerrada por cada curva, una por una, contando cuadrículas sobre el plano con un planímetro o partir de AutoCAD, es un trabajo largo y tedioso. Por suerte, QGIS puede automatizar exactamente ese cálculo a partir del propio modelo de elevación, sin pasar siquiera por las curvas de nivel dibujadas.

4.1. Curvas altura-área en QGIS

A partir de un MDE y una capa de polígono de borde, el programa puede entregar un archivo CSV con la superficie de terreno acumulada por debajo de cada cota, dentro de ese polígono.

Para ello, en el menú superior se hace clic en «Procesos» → «Caja de herramientas». Se abre un panel lateral; sobre el mismo, buscar «Análisis del terreno ráster» → «Curvas hipsométricas». Se selecciona el modelo de elevación a analizar; en «capa de contorno», se elige el archivo .kmz que se había exportado inicialmente desde Google Earth.

Finalmente, resta definir el «paso», el intervalo vertical entre puntos de la curva: como el archivo del IGN tiene una precisión vertical aproximada de 2m, se propone usar ese mismo valor. Al ejecutar, el programa muestra en el panel la ubicación del archivo CSV exportado (en color azul).

Al abrir el archivo exportado, es necesario separar correctamente el texto en columnas. Antes de ello, ir a «Archivo» → «Opciones» → «Avanzadas», para indicar que el separador decimal es el punto (QGIS los exporta así), a fin de que no se modifiquen los valores. Luego, utilizar la herramienta «Texto en columnas», disponible en la pestaña «Datos» de Excel. Seleccionar la opción «Delimitados» y elegir como separador a la coma; una vez ejecutado, debería quedar bien.

4.2. Curvas altura-volumen

El algoritmo anterior no calcula el volumen de forma directa, pero a partir de la tabla de área acumulada por cota es sencillo obtenerlo por integración numérica en una planilla de cálculo, aplicando la siguiente fórmula entre cotas sucesivas:

$$\text{Volumen acumulado bajo la cota } h_i: \quad V_{h_i} = V_{h_{i-1}} + \frac{(A_{h_{i-1}} + A_{h_i}) \cdot \Delta h}{2}$$

Para ello, se ordena la tabla de menor a mayor cota. Se agrega una nueva columna de volumen acumulado, comenzando con valor nulo en la cota más baja. A partir de la segunda fila, se aplica la fórmula y se arrastra hasta el final de la tabla. Finalmente, se grafican ambas curvas en Excel.

5. ENTREGABLES

Para el trabajo práctico integrador se analizará el proyecto El Baqueano, ubicado sobre el río Diamante, en San Rafael, en el tramo medio comprendido entre los aprovechamientos existentes de Agua del Toro y Los Reyunos. A partir de la información procesada, deberán evaluar si el aprovechamiento contará o no con regulación, y definir en consecuencia la ubicación preliminar del cierre del embalse y de la central hidroeléctrica. Para la próxima clase, contar con:

- Un archivo CAD con las curvas de nivel correspondientes al área de estudio.
- Un archivo Excel con la tabla de curvas hipsométricas y los dos gráficos asociados: curva altura-área y curva altura-volumen.
- Una verificación del área inundada bajo una cota a elección, comparando el valor obtenido en Excel con el área medida a partir de las curvas de nivel en AutoCAD.

En la próxima clase se utilizarán estas mismas curvas para definir los niveles de operación del aprovechamiento. Aunque el informe final se entregará al finalizar el cursado, se recomienda iniciar su redacción desde esta etapa. El informe podrá incluir registros gráficos del proceso, las curvas hipsométricas obtenidas, el criterio adoptado para elegir el sitio de presa y un esquema general del aprovechamiento, incluyendo la galería a presión y la ubicación de la central.