

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR.

HISTORIC EVOLUTION OF THE MILITARY GEOGRAPHY INSTITUTE.

Sr. Alejandro Pinto Espinosa¹ y Sr. Marcos Meza Espinoza ²

RESUMEN

El importante crecimiento y trascendencia que alcanzó la cartografía a principios del siglo XX, trajo como consecuencia la creación de un organismo autónomo que se dedicara a tales estudios y trabajos. Es por ello que, en el año 1922, se creó el Instituto Geográfico Militar con el objetivo de ser la entidad oficial del Estado, encargada de todo lo relacionado con la cartografía y levantamiento del territorio nacional, dando continuidad a los trabajos realizados previamente por la Oficina de Geografía, Cartografía y Topografía, dependientes de la oficina técnica del Estado Mayor. Pero es en el año 1955 donde se dio inicio a la elaboración de la Cartografía Análoga por medio de vuelos aerofotogramétricos, con una metodología totalmente análoga. El paso de los años y la llegada de nuevas tecnologías permitió al Instituto Geográfico Militar a fines del siglo XX y principios del siglo XXI, migrar todos sus procedimientos analógicos a procedimientos digitales, lo que permitió aumentar la exactitud y rapidez en todos los procedimientos, así como también, resolver dificultades de cálculo que intervienen directamente en las ciencias de la Tierra y particularmente en la cartografía. Hoy en día, la cartografía digital escala 1:25.000 es el principal producto que se genera en el IGM. El proceso comenzó cuando se adquirieron imágenes satelitales y ortofotos con una resolución espacial de 0.5 m. A partir de estas, se generó un ambiente en 3D que será la base de la fotointerpretación que compone la información geográfica.

Palabras clave: cartografía – fotogrametría - producción cartográfica - información geográfica.

ABSTRACT

The important growth and transcendence that cartography reached at the beginning of the 20th century, brought as a consequence the creation of an autonomous organization that would dedicate itself to such studies and works. That is why, in 1922, the Military Geographic Institute was created with the aim of being the official State entity, in charge of everything related to the cartography and survey of the national territory, giving continuity to the work previously carried out by the Office of Geography, Cartography and Topography, dependent on the technical office of the General Staff. But it is in the year 1955 where the elaboration of Analog Cartography began by means of aero photogrammetric flights, with a totally analogous methodology. The passing of the years and the arrival of new technologies, allowed the Military Geographic Institute at the end of the 20th century and the beginning of the 21st century, to migrate all its analogical procedures to digital procedures, which allowed to increase the accuracy and speed in all the procedures, as well as solving calculation difficulties that directly intervene in Earth sciences and particularly in cartography.

Today, 1:25,000 scale digital cartography is the main product generated at the IGM. The process began when satellite images and orthophotos with a resolution of 0.5 m. From these, a 3D environment was generated that will be the basis of the photo-interpretation that makes up the geographic information.

Key words: cartography – photogrammetry - cartographic production - geographic information.

1 Instituto Geográfico Militar. Cartógrafo, Magíster en Geografía y Geomática

2 Instituto Geográfico Militar. Cartógrafo, Ingeniero en Geomensura y Cartografía, Diplomado en Geomática

Fecha de recepción: 26 de Julio 2022.

Fecha de aprobación: 25 de Octubre 2022.

INTRODUCCIÓN

El trabajo realizado por el Instituto Geográfico Militar se ha caracterizado por lograr avances tecnológicos que marcaron la evolución de la cartografía nacional. Un hito importante, el cual marcó un precedente para la mejora de los procesos de producción cartográfica, fue la migración de un sistema de restitución y tratamiento de la información geográfica desde mecanismos totalmente análogos a mecanismos digitales, con los que se cuentan en la actualidad.

El IGM ha entregado una contribución, a lo largo de toda su historia, al desarrollo científico y tecnológico del país, a través de la descripción y representación cartográfica oficial del territorio nacional, para los distintos usos civiles y militares, siempre buscando un constante mejoramiento de la calidad y precisión, gracias al personal que desempeña sus labores día a día con profesionalismo, compromiso y dedicación.

INICIO DE LA CARTOGRAFÍA EN CHILE (1602-1922).

La cartografía en Chile comenzó a dar sus primeros pasos con Pedro de Valdivia, quien, por medio de las cartas enviadas al rey de España, realizó las primeras descripciones topográficas del terreno conquistado. Durante el periodo de la Independencia, la cartografía comenzó a tener un valor militar realmente importante, cuando el Capitán General Bernardo O'Higgins creó los "Depósitos Cartográficos" con el objetivo de mantener un orden en cuanto a los planos y mapas de los territorios necesarios para la campaña libertadora, cuya información dató del año 1602 (Barros, 1974).

En el año 1889, se constituyó la "Comisión Demarcadora de Límites de Chile con Argentina", dos años después, el presidente Jorge Montt Álvarez creó la Oficina Geográfica, dependiente del Estado Mayor del Ejército, la cual tenía como misión principal elaborar la carta militar del país.

De esta manera, a raíz del trabajo efectuado y la relevancia alcanzada, en el año 1893 la Oficina Geográfica se transformó en la "Oficina de

Geografía, Cartografía y Topografía", pasando a depender de la Oficina Técnica del Estado Mayor.

En consecuencia, el ministro de guerra Justino Blanco Vial, en el año 1894 le expresó al Jefe del Estado Mayor el deseo y la necesidad de elaborar el levantamiento topográfico de Santiago. El resultado de este trabajo consistió en la elaboración de una base en la línea férrea entre Santiago y Bahuco, así como también el levantamiento a escala 1:25.000 del sector abarcado entre ambos puntos. Esto significó el inicio para la producción de la carta de toda la República, en donde se realizaron las primeras triangulaciones para contribuir a las necesidades topográficas de todo el territorio nacional.

En los trabajos realizados de Santiago al río Maipo, se comenzó de una base medida en la línea del ferrocarril a Melipilla, entre las estaciones Maipú (base) y Santa Cruz. Por otro lado, una segunda base fue medida sobre la línea del ferrocarril central entre las estaciones de Linderos y Paine (base). Ambas bases fueron medidas con huinchas de acero de 25 m (IGM, 2004).

En el año 1898 se continuó con el trabajo trigonométrico, cartográfico y topográfico. Es así como la red Melipilla y todos sus triángulos anexos pasaron a formar parte de la primera "Red Geodésica de primer orden" del país. En 1902, se realizó una modificación en cuanto a las características del trabajo topográfico, reduciendo las dimensiones de las primeras planchetas, que de 13 km por lado, pasaron a ser de 10 km (Marín y Brunner, 1934).

Con esta modificación, se terminó el "Levantamiento Antiguo" y empezó la era del "Levantamiento Regular", lo que tuvo como cualidad principal, apoyarse en las triangulaciones de primer orden elaboradas previamente. El año 1902, marcó el inicio del levantamiento regular de la carta a escala 1:25.000, lo cual, en un principio, tiene fines militares, políticos, administrativos y de utilidad pública. Cabe señalar que, como hito importante, el Servicio Geográfico del Ejército confeccionó la primera hoja topográfica a escala 1:25.000, denominada "San Manuel" (Figura 1) ubicada en el sector de Melipilla (IGM, 2004).



Figura 1. Carta del sector San Manuel, Melipilla, confeccionada en 1930. Fuente: Archivo fotográfico IGM.

En agosto de 1903, el presidente German Riesco y el ministro Ricardo Matte, crearon la oficina de la “Carta de la República”, la cual contenía dos subsecciones: la geodésica, encargada del levantamiento del territorio nacional, y la topográfica, a cargo de la publicación y reproducción de todos los trabajos geodésicos. El

25 de noviembre de 1905, el presidente Riesco, fijó una nueva denominación a la sección, llamada “Levantamiento de la Carta General del País”, perteneciente al Estado Mayor General del Ejército (IGM, 2004).

El 12 de mayo de 1906, la sección fue elevada a la categoría de “Departamento”, el cual se dividió en

tres secciones: trigonométrica, topográfica y cartográfica. Por otro lado, se dio inicio al ingreso del personal civil, otorgando nuevos puestos de trabajo tales como geodestas, topógrafos, cartógrafos, litógrafos, entre otros, con la denominación general de “Empleados Civiles del Ejército” (IGM, 2004).

Con el inicio del siglo XX, se comenzó un nuevo periodo en cuanto al levantamiento de la carta, debido fundamentalmente a la adquisición de instrumentos geodésicos y topográficos y la realización de trabajos de triangulación. Se midieron cuatro redes de primer orden, las cuales se densificaron con triangulaciones secundarias ejecutadas con fines topográficos de segundo y tercer orden según su precisión. En general, cada hoja topográfica elaborada a escala 1:25.000 constaba de 100 km². Entre los años 1902 y 1922 se levantaron 233 hojas a nivel nacional, trabajo que continuaría el Instituto Geográfico Militar (IGM, 2004).

CREACIÓN DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR (1922).

Como una forma de centralizar y dar continuidad a los trabajos de levantamientos anteriores y ante la necesidad de la formación de un organismo autónomo y el reconocimiento de estos trabajos de parte del presidente Arturo Alessandri, es que mediante el decreto N° 1664 del 29 de agosto de 1922, se creó el Instituto Geográfico Militar (IGM, 2004).

Sus instalaciones en un principio se encontraban en calle San Francisco, luego se trasladaron a calle Castro 354. En 1927, se acondicionaron tres pabellones que albergaron instrumentos en talleres gráficos e imprentas.

En 1926, se proyectó y se planificó la cartografía del territorio nacional a escala 1:25.000. También se realizó la demarcación de los límites administrativos de provincias y comunas en colaboración con el Ministerio del Interior y se llevó a cabo la reposición de los hitos en la frontera con Bolivia.

En 1928, la creación del “Curso de Oficiales Ingenieros Topógrafos Geodestas” y la “Sección Fotogramétrica” permitió la implantación en el país de un método aerofotogramétrico para labores de exactitud en la generación de la cartografía, además se adquirió instrumental para

triangulaciones geodésicas, nivelación de alta precisión y levantamiento topográfico.

En 1930, el IGM comenzó a elaborar el primer anuario con la información levantada y ese mismo año, se decretó la ley sobre la “Carta General de la República”, la cual le confirió al IGM el rango de autoridad oficial de la nación para todas las actividades geográficas y levantamientos territoriales. A pesar de esto, aún había dispersión de instituciones que elaboraban cartografía, motivo por el cual se creó la “Ley de la Carta” (Decreto C.I N°2090 de 1930), donde se fijaron las obligaciones y atribuciones de la institución: “Será permanentemente la autoridad oficial del Estado en todo lo que se refiere a geografía y elaboración de cartas del territorio nacional”. A su vez, se comenzaron a realizar los trabajos para elaborar la cartografía 1:25.000 en conjunto con la Fuerza Aérea de Chile, con el apoyo de catorce puntos trigonométricos de alta precisión. La destinación de un avión de la Fuerza Aérea de Chile para la obtención de fotografías aéreas permitió que se hiciera oficial el paso desde el levantamiento terrestre hacia el levantamiento aerofotogramétrico, para la generación de la cartografía del territorio nacional. En 1935 se elaboró la carta de la Región de Arauco y, a través de la implementación de técnicas aerofotogramétricas, el levantamiento provisorio de la cordillera de Los Andes. Sin embargo, la situación económica por la que atravesaba el país, trajo como consecuencia la disminución de presupuesto y personal para desarrollar el levantamiento de todo el territorio nacional, es por esto que se decidió crear el Departamento de Levantamiento Provisorio de la Carta, una modificación que permitió trabajar de forma coordinada con el Destacamento Magallanes y así completar una carta general del territorio nacional entre personal civil y militar para cumplir el objetivo de obtener un producto fidedigno de representación del terreno (IGM, 2004).

Por medio del Decreto N°2157 del 29 de diciembre de 1933, la Subsecretaría de Guerra dispuso: el levantamiento y la confección de cartas a escala 1:100.000 y 1:250.000, la recopilación de antecedentes de levantamientos realizados anteriormente y la capacitación a las secciones de oficiales y suboficiales (IGM, 2004).

Las salidas a terreno se realizaban con los instrumentos y personal que había en esa época (1934-1935), contando con ganado, provisiones,

personal de salud y medicamentos. La organización para el levantamiento de la red geodésica también permitió una mayor precisión en el trabajo de gabinete. Hasta el año 1939, los trabajos en terreno continuaron en la región cordillerana a lo largo del país a escala 1:100.000, entregando a la nación la información de la zona de salares y cordillera de Antofagasta, zona centro (Aconcagua, Santiago y Colchagua) y la sección sur en las provincias de Ñuble, Biobío y Cautín. Por otra parte, el Departamento de Magallanes confeccionó la cartografía de los caminos

patagónicos (1:500.000) y un plano de la ciudad de Punta Arenas (IGM, 2004).

El “Levantamiento Provisorio de la Carta” tuvo como resultado la cartografía a escala 1:100.000 de amplias zonas del territorio nacional a raíz de las campañas de terreno del personal del IGM y regimientos emplazados en las regiones representadas. En 1941 se terminó el Plano Oficial de Urbanización de la comuna de Santiago a escala 1:20.000 (Figura 2), lo que evidencia el progreso de esta etapa.

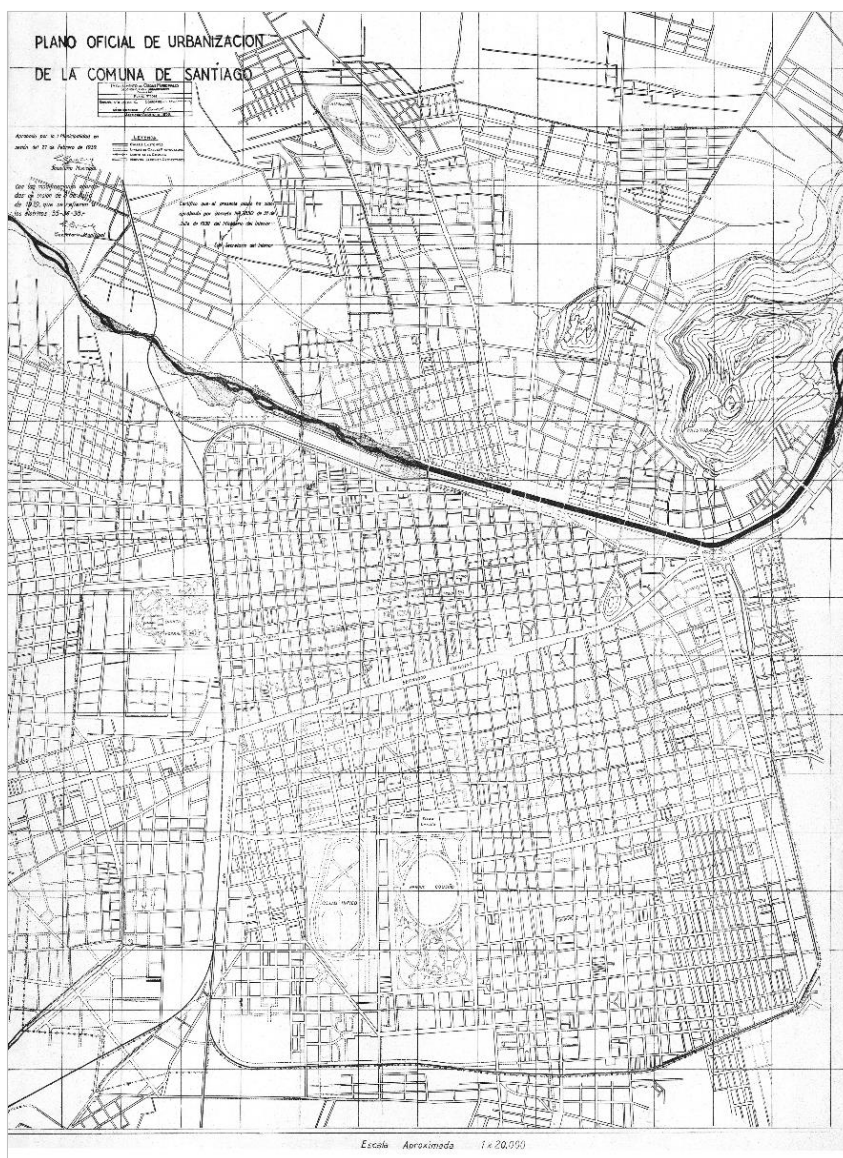


Figura 2. Plano oficial de urbanización de la comuna de Santiago, escala 1:20.000, año 1941. Fuente: Archivo fotográfico IGM.

La comisión de límites requirió realizar trabajos en terrenos para la zona de Aysén con la contraparte argentina, en que el IGM aportó con recursos humanos y materiales en la recuperación y materialización de hitos fronterizos (1940-1941) (IGM, 2004).

ACUERDO DE COOPERACIÓN CHILE-ESTADOS UNIDOS PARA LEVANTAMIENTOS AEROFOTOGRAMÉTRICOS.

Fue en el año 1947 que se generó un hito muy importante y que representó un impulso para el desarrollo del IGM. Se firmó el “Convenio de cooperación y colaboración mutua” con el “Servicio Geodésico Interamericano de Estados Unidos” (IAGS), así quedaron establecidas las normas para el levantamiento aerofotogramétrico del país a escalas 1:50.000 y 1:100.000 con la combinación de los elementos especializados y de calidad de ambos países (IGM, 2004).

Anteriormente, un equipo de técnicos estadounidenses había realizado trabajos a través del vuelo “Trimetrogón” a escala 1:40.000 para la obtención de una carta base preliminar a escala 1:250.000 y la fijación de vértices geodésicos. Luego de la firma del convenio, una serie de actividades se realizaron como nivelaciones geodésicas y trigonométricas, mejoramiento de instrumental, observaciones astronómicas con el fin de hacer un levantamiento del territorio a diferentes escalas, dividiendo el país en dos grandes zonas: la primera desde el límite con Perú hasta Puerto Montt y la segunda desde esta última ciudad hasta el Cabo de Hornos (Archivo Técnico IGM, 1990).

AVANCES EN LA PRODUCCIÓN CARTOGRÁFICA, LEVANTAMIENTOS Y EXPEDICIONES AL TERRITORIO NACIONAL (1948-1955).

Avanzando hacia la década de los años 50, la cooperación de Estados Unidos continuó con el vuelo “Hycon”, con el objetivo de generar una cubierta fotográfica escala 1:70.000 desde la línea de la Concordia hasta la ciudad de Concepción.

La carta base preliminar a escala 1:250.000 fue finalizada gracias al Convenio de “colaboración y cooperación mutua” de 1947, abarcando un total de

760.892 km² de superficie, la cual se realizó en el año 1954 (Archivo Técnico IGM, 1990).

En el año 1955 se suscribieron trabajos de demarcación con la Comisión Chilena-Argentina, donde el IGM tuvo especial protagonismo en la confección de la traza fronteriza entre los hitos 16 y 17, en la zona de Palena, un tramo de 400 km (IGM, 2004).

ELABORACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA ANÁLOGA CON VUELOS AEROFOTOGRAMÉTRICOS: METODOLOGÍA ANÁLOGA (1955).

El convenio con Estados Unidos trajo un cambio en cuanto a la metodología en la fase de restitución, la cual comenzaba con la identificación de las líneas de vuelo y la obtención de puntos en el terreno, medidos por el equipo geodésico y posicionados en las fotografías aéreas en las zonas de traslape, para la construcción del modelo estereoscópico y permitir, a través de la fotointerpretación, la restitución de las diferentes capas de información. Para la generación del modelo estereoscópico era necesario realizar tres distintas orientaciones; interna, relativa y absoluta, con el fin de corregir las distintas distorsiones creadas en el vuelo, ya sea del terreno como de los instrumentos de la toma de la fotografía aérea mediante instrumentos diseñados para ese fin (IGM, 2004).

Paralelamente, los operadores confeccionaban la hoja con coordenadas planas del área que se requería restituir a escala 1:50.000, llamado “*cronaflex*”. Sobre este, se comenzaban a trazar los elementos. En primer lugar, se realizaba la restitución de la planimetría, luego la hidrografía, vegetación y la orografía (curvas de nivel).

Terminada la fase de restitución, se debía realizar una revisión o control de calidad. Para ello se utilizaban fotografías ampliadas de toda la zona capturada, comparando ambos documentos y verificando la posición exacta de todo lo dibujado previamente. A su vez, se revisaba la cuadrícula de la hoja y su correcta localización con relación a las coordenadas geográficas, se confeccionaban los gráficos de caminos, hidrografía, orografía, vegetación, cotas y topónimos existentes en la zona (Copaja y Guzmán, 1997).

Realizado el control de calidad, los documentos eran enviados a la “Sección de Dibujo Cartográfico”. Estos eran llevados al laboratorio

fotográfico, donde se obtenía un negativo base (foto en negativo), que consistía en una película de 79 x 90 cm en la cual se copiaban los haces de luz generados desde el *cronaflex*.

Este negativo base era la plataforma para el dibujo en *stabilene*, el cual consistía en un plástico con superficie de cera, en donde se trazaban los elementos contenidos en la restitución original. En cuanto al trazado, se requería una hoja distinta de *stabilene* para cada capa capturada, considerando la siguiente separación de áreas; para el trazado del margen y cuadrícula (negro), orografía (sepia), planimetría (negro) e hidrografía (azul), (Copaja y Guzmán, 1997).

Finalizado el trazado, se llevaba a cabo un pre sensibilizado, en donde cada hoja de *stabilene* quedaba unido a un *peel-coat* (plástico con emulsión sensible a la luz). Ambos elementos eran expuestos a la luz, traspasando toda la información, generando así, las máscaras de separación de áreas. Posterior al traspaso de áreas, estas eran etiquetadas por medio de un identificador y se enviaban al laboratorio para una prueba a color, exponiendo el *peel-coat* a la luz (etapa fotomecánica).

Por otro lado, en gabinete se trabajaba confeccionando una relación de topónimos con los nombres hidrográficos, de ciudades y localidades, cotas y toda la información marginal existente en un nuevo papel llamado "vinilo de rotulación" (plástico transparente), el cual era enviado al laboratorio para realizar un *streaping*, etapa en la cual se imprimían todos los topónimos en un papel autoadhesivo transparente (Pino, 2022).

Al tener la prueba a color final lista y también el vinilo de rotulación, se efectuaba un último control de calidad, para después de este paso, comenzar con la fase final de refundidos. Del vinilo de rotulación se sacaba un negativo, el cual se limpiaba en profundidad, de manera que todas las copias restantes (o directos negativos) salieran de manera correcta, traspasando así en cada una de ellos, toda la información de cada color (Pino, 2022).

Realizada esta etapa, se procedía a unir todos los *stabilenes*, *peel-coat* y negativos de topónimos, los cuales se enviaban al laboratorio para obtener el refundido.

Al conseguir este producto, se daba por finalizado el proceso cartográfico, dando paso a la impresión, la cual se realizaba mediante el sistema de "offset", utilizando los siguientes colores:

- Negro: planimetría y topónimos
- Rojo: categoría de caminos y límites
- Azul: hidrografía y topónimos
- Celeste: fondos de agua
- Café: orografía y valores de cotas
- Verde: vegetación
- Violeta: valores de cuadrícula

De esta manera se obtenía el producto cartográfico final por medio de la metodología análoga (Figura 3).

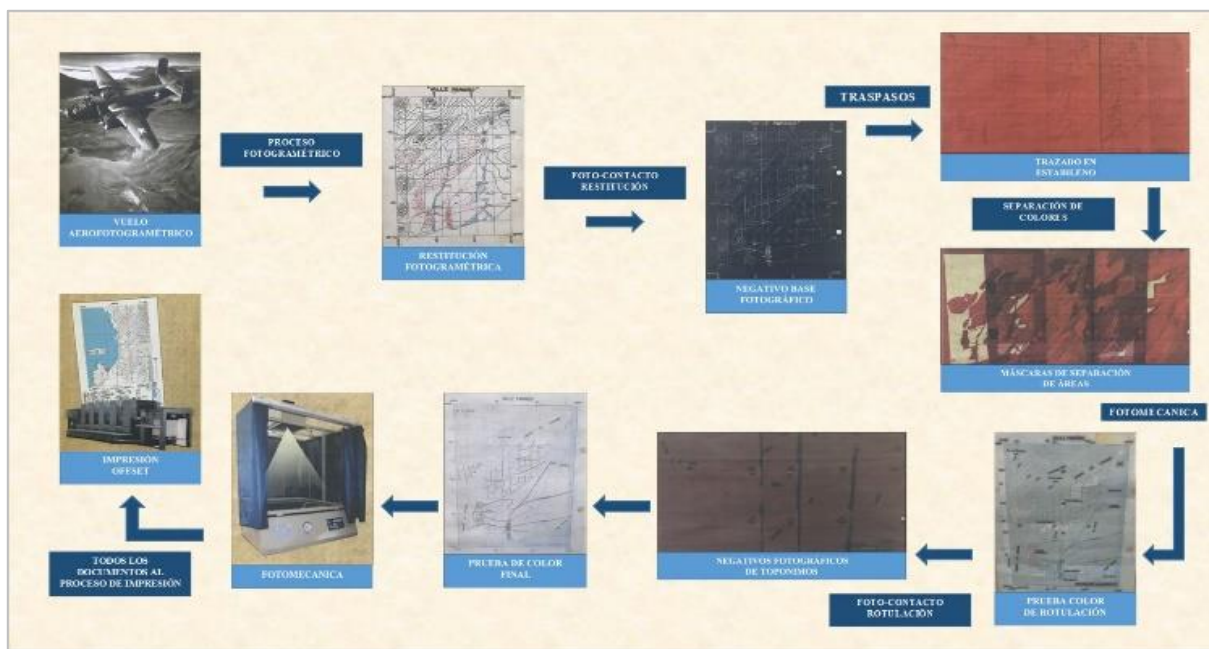


Figura 3. Flujo de trabajo del proceso de restitución desde la adquisición de las fotografías aéreas desde el vuelo hasta la impresión del producto final. Fuente: Departamento Fotogramétrico IGM, 2000.

AVANCES EN LA PRODUCCIÓN CARTOGRÁFICA E HITOS DEL IGM (1960-1980).

En 1962, se realizó la primera expedición a Campos de Hielo Sur para la materialización del límite internacional. La misión tenía como objetivo conocer en terreno las líneas de mayor altitud en los campos de hielo y su continuidad. Funcionarios civiles y militares del IGM participaron, entre otros, de la expedición, prestando apoyo en trabajos de nivelación y de material cartográfico para la descripción y caracterización del terreno.

Uno de los principales aportes al país que realizó el IGM en esta época, fue la elaboración del Atlas de la República de Chile de 1966, el cual fue confeccionado bajo las recomendaciones de la Unión Geográfica Internacional con un mapa físico escala 1:1.000.000, y contenía antecedentes históricos, astronómicos y político-administrativos, además de fotografías aéreas y mapas temáticos. Fue distribuido a lo largo del territorio nacional, sobre todo como material didáctico en los centros educativos y bibliotecas (IGM, 2004).

En esta década, con el avance de la publicación de hojas cartográficas, se logró un total de 387 cartas, llegando al final de 1970 a la restitución de 170 hojas, cubriendo una superficie de 102.000 km².

Valorando la importancia en la vida científica, tecnológica y cultural, es que en el año 1971 se resolvió dotar al IGM de un nuevo edificio acorde a los tiempos, el cual fue construido en un terreno de 17.074 m². Obras que vieron su fruto el 6 de julio de 1979 (IGM, 2004).

En el año 1976 se llevó a cabo el proyecto "Plan Nacional de Cartografía y Fotogrametría" (PLANACAFO), el cual consistía en satisfacer las necesidades cartográficas del país, con el fin de orientar la política económica con un enfoque en los aspectos cuantitativos y cualitativos y otros de interés para la Defensa Nacional, con la incorporación de moderno instrumental de restitución fotogramétrica y la capacitación del personal del IGM a países que estaban a la vanguardia en la confección de cartas y planos como Alemania, Suiza y Holanda, entre otros. En esta época, los trabajos de restitución cartográfica se apoyaron de la fotogrametría terrestre como complemento a la fotogrametría aérea, es decir, apoyo fotográfico desde el plano horizontal de los objetos en aquellas zonas de difícil acceso (IGM, 2004).

En 1978, se realizaron trabajos de campo para la actualización de la cartografía de la zona austral, cuyo resultado fueron 149 hojas a escala

1:100.000. A causa de la dificultad de acceder a muchos lugares de esta amplia zona, es que se tuvo que recurrir a la obtención de puntos en el terreno mediante técnicas de posicionamiento satelital. A pesar de esto, se logró el objetivo y se redujeron los costos de producción gracias a este hecho (IGM, 2004).

ADQUISICIÓN DE NUEVO INSTRUMENTAL Y TRANSICIÓN A LA CARTOGRAFÍA SEMI-ANÁLOGA (1980-1992).

Uno de los principales avances que tuvo el IGM en esta época, fue la adquisición de moderno instrumental que consistía en equipos de ortoproyección de las marcas *Wild* y *Zeiss*, lo que permitió la generación de ortofotos. A partir de la década de los años 80, esta nueva tecnología permitió que el IGM se hiciera parte de un convenio con el Instituto Nacional de Investigación de Recursos Naturales (IREN-CORFO) para la actualización de mosaicos de ortofotos generados a escala 1:20.000, además se realizaron un total de 5.000 ortofotos entre proyectos forestales y mineros (IGM, 2004).

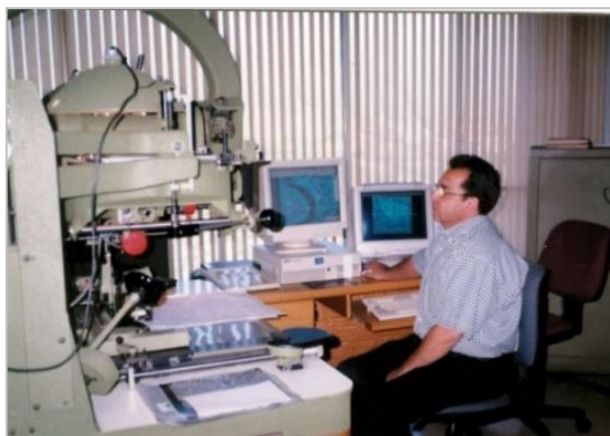


Figura 4. Incorporación de computadores para la vectorización en el proceso de restitución cartográfica a partir de la década del 90. Fuente: Archivo fotográfico IGM.

La necesidad de seguir innovando permitió que se llevara a cabo un proyecto experimental sobre cartografía con imágenes satelitales *Landsat*, que dio como resultado una carta de Santiago a escala 1:500.000 en falso color y otra de Arica a escala 1:400.000 con una cuadrícula UTM (coordenadas planas) por métodos computacionales.

Por otra parte, se elaboró cartografía a escala 1:25.000 de las zonas económicas más importantes del país, a su vez, se publicó el 95% de la cobertura nacional a escala 1:50.000.

A finales de los años 80, la restitución fotogramétrica permitió incorporar mejoras en la interface de vectorización de los elementos dibujados, debido a la adquisición de los equipos de *Wild* y *Zeiss* y un monitor computacional con el software *Microstation* (Figura 4). Este programa permitió visualizar los elementos restituidos y almacenarlos en un soporte computacional (IGM, 2004). **MIGRACIÓN HACIA RESTITUCIÓN Y PRODUCCIÓN CARTOGRAFÍA DE FORMA DIGITAL (1992-2010).**

La incorporación de computadores en el proceso cartográfico permitió no solo avanzar la vectorización, sino que también la automatización en la fase de corrección de las fotografías aéreas, que antes debía realizarse manualmente. A su vez, se mejoró la visualización gráfica, la impresión y reproducción en colores.

La necesidad de modernizar el método de producción cartográfica llevó al IGM a cambiar el paradigma y comenzar a automatizar las distintas etapas del proceso cartográfico, a través de un sistema digital. La modernización instrumental recibió el nombre "Sistema de Cartografía Digital" y "Gestión de Base de Datos *Integrath*". En esta etapa se contó con nuevas estaciones de restitución, de procesamiento de imágenes y de edición cartográfica (IGM, 2004).

A partir de 1992, se inició el traspaso de información cartográfica análoga a una "Base de Datos de Cartografía Nacional" en formato digital. El equipamiento del instituto mejoró, adaptándose a la tecnología imperante en esos años. De esta forma, a las estaciones digitalizadoras se sumaron equipos computacionales para los departamentos de Geodesia, Publicaciones y Procesamiento Digital de Imágenes. La información capturada era almacenada en forma de códigos, los cuales guardaban características de color, grosor y tamaño. Estos atributos podían ser desplegados, manipulados y actualizados en cualquier momento, dando un orden a la información gráfica, teniendo en cuenta que, era necesario contar con archivos digitales y tablas asociadas.

Con relación a la elaboración de la cartografía digital, los primeros pasos eran exactamente los mismos que la cartografía análoga, en cuanto al

levantamiento aerofotogramétrico y el manejo previo de los datos, el cual agrupa fases tales como planificación y ejecución de vuelo, tratamiento fotográfico, control en gabinete y terrestre, aerotriangulación y transformación de coordenadas. Luego, se preparaba la ventana de trabajo, que consistía en crear un archivo de dibujo, dándole ciertas especificaciones del proyecto a trabajar. A su vez, se anexaba una base de datos con los puntos de terreno y de control, los cuales se utilizaban para orientar los modelos a restituir (IGM, 2004).

De esta forma, se podían instalar los modelos fotogramétricos en las placas del instrumento restituidor, ejecutando las operaciones de orientación interna y relativa. Por su parte, cuando se realizaba la orientación absoluta, comenzaba a interactuar el computador con el instrumento de forma simultánea, debido a que en el quedaban grabados todos los parámetros. Esto se llevaba a cabo mediante la ubicación de un punto de referencia, que correspondía a un punto localizado en las diapositivas y del cual se conocían sus coordenadas exactas de posición y altura (x, y, z). Realizado esto y seleccionando la librería de símbolos, se estaba en condiciones de comenzar a dibujar, utilizando todas las herramientas que el *software* ofrecía para la época. El proceso de captura se realizaba de forma vectorial (sistema de líneas) y por celdas o *ráster* (sistema de áreas) (IGM, 2004).

El almacenamiento de esta información dio como resultado la creación de un departamento para mejorar la eficiencia en el área de informática y administración de datos. Así se da inicio al “Departamento de Informática, Computación y Estadística” (DICE), cuya misión es asesorar al director en materia de informática y administrar la base de datos del sistema de cartografía automatizada. (IGM, 2004).

El IGM aportó en esos años en la elaboración de levantamientos urbanos digitales escala 1:1.000 y 1:2.000 de algunas ciudades como Santiago, Rancagua, La Serena, Punta Arenas entre otras, además de otros levantamientos realizados a empresas mineras y forestales a escala 1:10.000, además un plano digital de Santiago a escala 1:5.000. En 1995, se dio inicio al proyecto GEOTEC, el cual consistió en la disponibilidad de información cartográfica digital, entre las distintas ramas de las Fuerzas Armadas, orientada en la planificación y estudios estratégicos para la

seguridad nacional, actualizándose un total de 1.422 cartas a escala 1:50.000 (IGM, 2004).

En el año 2000, se comenzó a trabajar en la “Base Cartográfica Nacional Digital”, lo cual implicó la adquisición de nuevos equipos de terreno, se capacitó a nuevo personal, seguido de nuevas investigaciones y estudios referidos a la transformación de *datum*, entre otras cosas. Dos años más tarde, se llegó a un acuerdo con la “Oficina Federal de Cartografía y Geodesia” (BKG) de Alemania, así como también con un consorcio chileno compuesto por las universidades de Concepción, Biobío, Católica de la Santísima Concepción y el IGM, para instalar en la ciudad de Concepción, un Observatorio Geodésico Integrado Transportable (TIGO), cuyo principal objetivo fue proporcionar datos que contribuyan al establecimiento del “Sistema de Referencia Global” y mantención de sus marcos de referencia, también complementó el establecimiento y ajuste más preciso del nuevo sistema geodésico nacional que desarrollaba el IGM en Chile (IGM, 2004).

Este mismo año, se impulsó el proyecto “Base de Datos Geoespacial” (BDG), cuyo objetivo principal fue desarrollar un procedimiento que permitiera comercializar los productos IGM a través de internet e integrarse a otras bases de datos nacionales e internacionales.

Durante los años 2003 y 2004, se incorporaron a la BDG el total de las cartas a escala 1:50.000 de las Secciones A y B. En cuanto a la estructura o esquema de los datos, se utilizó el Modelo “TLM Vector Map 2”, bajo las especificaciones del NIMA.

En cuanto a la publicación de cartas topográficas 1:50.000, se utilizaron los programas Intergraph y ArcGIS. Desde los datos de la Base de Datos Geográfica se implementó la herramienta de ESRI “Production Line Tool Set” (PLTS), lo que se adaptó en la producción de cartas regulares del IGM. De acuerdo a esta estructura TLM, cada hoja topográfica podía, dependiendo de su contenido, estar constituida por un conjunto de archivos vectoriales temáticos que eran atributados de manera gráfica, los cuales constituyeron la entrada para todo el proceso de publicaciones en papel, así como también, eran editados para elaborar la salida a usuarios digitales. En lo que se refirió a la publicación de la cartografía a escala 1:50.000, se utilizaba esta metodología de trabajo.

Posteriormente, se dio paso a la publicación con el modelo de datos "Topographic Data Store" (TDS) (IGM, 2004).

GENERACIÓN DE CARTOGRAFÍA DIGITAL 1:25.000 (2010- HASTA LA ACTUALIDAD).

Entrando a la nueva década, el procedimiento de restitución cartográfica dio un salto importante al incorporar nuevas tecnologías para la captura de información en un ambiente 3D. La necesidad de contar con una cubierta actualizada del país a escala 1:25.000, hizo necesario incorporar nuevos procedimientos en la producción cartográfica y mejorar los estándares de calidad, transformándose de esta forma en el principal producto, entre otros, que se generan en el IGM en esta época.

De esta forma, se dio inicio al proceso de restitución digital, iniciativa que buscaba actualizar y mejorar la precisión de los elementos de la cartografía nacional para distintos usos civiles y militares a escala 1:25.000 y que consistió en la captura, edición y obtención de cartografía digital. El IGM implementó la renovación de nuevas estaciones con monitores de visión 3D y acondicionamiento de áreas de trabajo.

El proceso comenzó cuando se recibieron imágenes satelitales y ortofotos con estándares de

resolución espacial de 0.5 m. A partir de estas, se generó un ambiente 3D mediante un Modelo Digital de Elevación (MDE) en el software "Summit DATem". La visualización en tres dimensiones permitió interpretar de mejor forma los distintos elementos para su clasificación y su posterior vectorización, en entidades únicas con atributos y características geométricas.

La información digital se almacenó en un modelo de datos (TDS) de acuerdo a la descripción de cada una de las entidades, ya sean rasgos naturales o actividades antrópicas (hidrografía, fisiografía, vegetación, asentamientos, actividades productivas, entre otras).

La captura de información desde la figura se realizó apoyada por el catálogo de entidades, que es la descripción conceptual de las características de las entidades a restituir y la guía de extracción, documento de consulta de las dimensiones que deben tener los elementos para ser extraídos.

La información cartográfica se sometió a procesos de control de calidad, dando cumplimiento a las directrices establecidas en la guía de extracción, tomando en consideración los atributos de cada elemento capturado y su representación geométrica en el terreno. En la figura 5 se grafica la metodología de trabajo descrita.

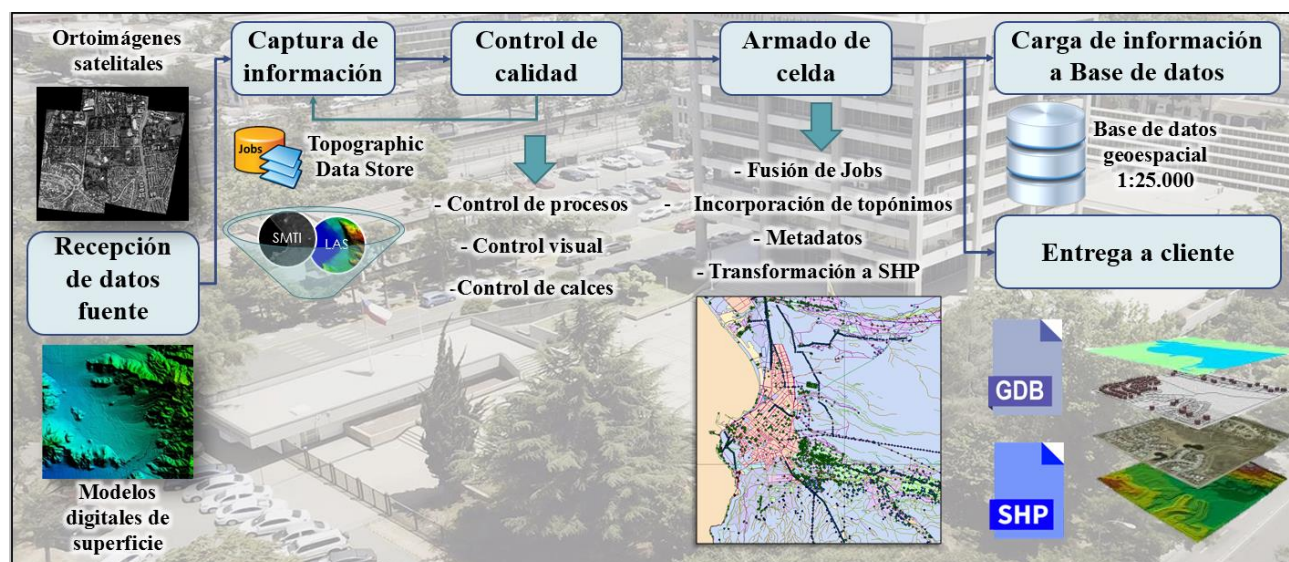


Figura 5. Flujo de trabajo simplificado del proyecto, desde la recepción de imágenes hasta la entrega final al cliente.
Fuente: Sección Cartográfica, 2021.

El proyecto comenzó su fase de investigación a partir del año 2011, iniciando la etapa de captura al año siguiente, avanzando de norte a sur la cobertura nacional en distintas fases en celdas o

espacios de trabajo de 1° de latitud por un 1° de longitud, distribuidas en cuatro fases, como se indica en la tabla 1:

Fase I	Regiones de Arica y Parinacota, de Tarapacá, de Antofagasta y de Atacama	Años 2013-2014
Fase II	Regiones de Coquimbo, de Valparaíso (incluyendo Chile Insular) y Metropolitana de Santiago	Años 2015-2016
Fase III	Regiones del Libertador Bernardo O'Higgins, del Maule, de Ñuble, del Biobío y de la Araucanía	Año 2017
Fase IV	Regiones de Los Ríos, de Los Lagos y de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	Años 2018-2020

Tabla 1. Distribución de las distintas etapas de restitución digital 1:25.000 del territorio nacional. Fuente: Elaboración propia, 2022.

Actualmente, se continúa con la restitución cartográfica a escala 1:25.000, incorporando la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena.

REFLEXIONES FINALES

Ha quedado en evidencia que el Instituto Geográfico Militar siempre ha estado a la vanguardia de los principales avances tecnológicos en cuanto a la producción cartográfica. Los mecanismos convencionales desarrollados por el instituto fueron pioneros en su época. Los productos cartográficos análogos generados entonces, eran resultado de un proceso que constaba de diversas fases, tales como la planificación de los vuelos, la generación del negativo y la posterior restitución de manera manual de cada capa, sin contar lo que se debía hacer para imprimir el producto final. Hoy en día, las herramientas y los procedimientos para realizar una fotointerpretación y restitución digital están orientadas a agilizar el proceso cartográfico, al permitir manejar una gran cantidad de información, trabajar con imágenes de calidad como las satelitales, entre otras y poder visualizar los elementos presentes en ella en tres dimensiones.

La importancia del trabajo que se realizaba al interior del instituto en concordancia con el interés nacional queda de manifiesto por la cantidad de cooperaciones suscritas por el IGM, tanto por

instituciones públicas como privadas, que tienen una participación relevante en el quehacer nacional como la Fuerza Aérea de Chile, la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), municipalidades, empresas de áreas tan diversas como la minería, forestal, agrícola, científica, entre otras.

Se ha cumplido el objetivo de dar a conocer la evolución histórica y los principales hitos que formaron al instituto como la entidad oficial del Estado, en cuanto al manejo y generación de información geográfica, así como también, instaurar una discusión en cuanto a la posición actual en que se encuentran los nuevos procesos, mirando en retrospectiva los enormes esfuerzos de gente comprometida con el país, por entregar, pese a las limitaciones de antaño, un producto de calidad y que fuera útil para el desarrollo científico y divulgación del conocimiento geográfico al servicio de la sociedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCHIVO TÉCNICO IGM, "Vuelo Hycon". Material de trabajo, Instituto Geográfico Militar, 1990.

BARROS, J. "Los primeros mapas de Chile", Revista Diplomática, no 3, 1974.

COPAJA, E., GUZMÁN, S. "Compendio de Cartografía", Memoria para optar al título de

Técnico Superior en Cartografía. Universidad Bernardo O'Higgins, Departamento de Ciencias de la Tierra, p. 101-150, 1997.

COPAJA, E., "Proceso de cartografía análoga" [entrevista oral], 2022.

DEPARTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO, "Flujo de trabajo del proceso de restitución desde la adquisición de las fotografías aéreas desde el vuelo hasta la impresión del producto final", material de trabajo, Instituto Geográfico Militar, 2000.

EYZAGUIRRE, J., "Breve historia de las fronteras de Chile", Santiago: Editorial Universitaria, 1967.

INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR (IGM), "Historia del Instituto Geográfico Militar y su aporte al desarrollo nacional", p. 43-151, 2004.

MARÍN, A., BRUNNER, F., "Topografía y Fotogrametría". Santiago: Talleres IGM, 1934.

PINO, R., "Cartografía Análoga, etapa fotomecánica". [entrevista oral], 2022.

SECCIÓN CARTOGRÁFICA, "Material de apoyo proceso de restitución digital". Material de trabajo. Instituto Geográfico Militar, 2021.