

# *Determinación de parámetros de transformación local para escalas cartográficas grandes:*

Apoyo al proceso de migración de Internacional Bogotá a MAGNA  
SIRGAS

## *Determination of local transformation parameters for large mapping scales:*

Support for International Migration Bogota to MAGNA SIRGAS

Recibido para evaluación: 24 de Marzo de 2010

Aceptación: 01 de Julio de 2010

Recibido versión final: 18 de Julio de 2010

Sandra Milena Gil Pérez<sup>1</sup>

Magda María Zuleta Bonilla<sup>2</sup>

Oscar Darío Quintero Zapata<sup>3</sup>

### RESUMEN

El presente trabajo busca calcular parámetros de transformación local para ser aplicados en procesos de migración de datos al nuevo Sistema de Referencia MAGNA- SIRGAS. Constituye también un acercamiento a este Datum como plataforma de georreferenciación del país en reemplazo del antiguo Datum Bogotá.

El informe completo establece el contexto espacial de los trabajos, esbozando sus características en cuanto a condiciones fisiográficas, edáficas y de zonas de vida. El marco conceptual presenta un estado del arte de los principales conceptos teóricos y prácticos que dan base al proyecto y que permiten entender procesos que se abordan en los capítulos siguientes. La metodología establece paso a paso las tareas seguidas que permitieron lograr los objetivos trazados por el estudio en cuanto al cálculo de parámetros y a su utilización acertada a un conjunto de datos espaciales. En este aparte del documento, pueden monitorearse claramente no solo los procesos, sino todas las herramientas tecnológicas necesarias, representadas en programas de postproceso y cálculo, que permitieron a este trabajo ser una experiencia exitosa.

**Palabras Clave:** MAGNA, SIRGAS, Geodesia, GNSS, GPS, Parámetros locales, Calibración GPS, Ajuste, Línea base, Datum, Proyección, Vértice, Punto de control.

### ABSTRACT

The actual work searches to calculate local transformation parameters for application to process data migration to new MAGNA- SIRGAS Reference System. It is also an approach to it as a platform for georeferencing Datum Country in replacement of the old Datum Bogotá.

The full report provides the spacial context of work, outlining features of the area in terms of physiographic conditions, soil and living areas. The framework presents a state of the art of the major concepts and skills that are based on the project and allow us to understand processes that are addressed in subsequent chapters. The methodology provides step by step followed the tasks which will achieve the goals set by the study for calculation of parameters and assertive use a spatial data set. In this separate document, clearly can be monitored not only processes, but all the tools necessary technological, represented in post- processing programs and calculation, which allowed this work to be a successful experience.

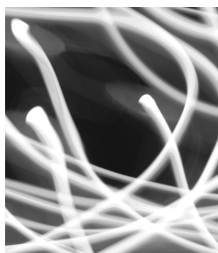
**Key Words:** MAGNA, SIRGAS, geodesy, GNSS, GPS, Local parameters, Calibration GPS, Set, Baseline, Datum, Projection, Vertex, Point of control

**1. Ecóloga, Universidad de Antioquia. Especialista en Medio Ambiente y Geoinformática**

**2. Ingeniera Agrícola, Universidad Nacional Sede Medellín. Especialista en Medio Ambiente y Geoinformática**

**3. Antropólogo, Universidad de Antioquia. Especialista en Medio Ambiente y Geoinformática**  
oscarespecializacion@gmail.com

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería



## 1. CONTEXTO

En el año 2005, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, la entidad gubernamental encargada de los sistemas de referencia nacional, acoge como sistema de referencia del país en reemplazo del antiguo Datum Bogotá, el Marco Geocéntrico Nacional de referencia MAGNA, con ayuda de fondos internacionales del Banco Interamericano de Desarrollo. Con la adopción de este nuevo marco de referencia, pretende garantizar la compatibilidad de las coordenadas colombianas con las constelaciones espaciales de posicionamiento o sistemas GNSS.

Desde entonces, el Instituto ha estructurado diferentes documentos que sustentan la importancia de migrar a este nuevo sistema, así como, la presentación de metodologías oficiales para que diferentes usuarios cartográficos del país puedan realizar transformaciones y conversiones de sus datos de manera asertiva y oportuna, pero dentro de la razón y función del Instituto, la cual es la actualización de la carta oficial del país escala 1:25000 o menor.

De este modo, apoyados en conceptos de geodesia, cartografía, topografía y sistemas de posicionamiento, se presentó un proyecto de investigación<sup>1</sup> ante la Escuela de Medio Ambiente de la Universidad de Antioquia, con un ejercicio práctico que dio cuenta de lecturas de posición mucho más precisas y acordes al sistema tierra para un área circunscrita del territorio colombiano, con cartografía a una escala de mayor resolución que la carta oficial del país.

El proceso de migración consiste en reproyectar la información que se encuentra en un sistema de referencia diferente (sistema antiguo ARENA sobre el elipsoide internacional), al sistema de referencia nuevo (sistema MAGNA sobre el elipsoide WGS84 o GRS80).

El postgrado de Medio Ambiente y Geoinformática, marco que acogió esta propuesta, define el trabajo de monografía como un ejercicio de corte investigativo, de orden conceptual o aplicado, que pretende alimentar desde herramientas académicas, aspectos relativos a la discusión teórica y/o a la solución de problemas o falencias concretas a nivel ambiental o geográfico en un territorio concreto<sup>2</sup>.

Desde este punto de vista y teniendo en cuenta los resultados de investigación obtenidos, todos ellos enmarcados en el campo de fusión *Tecnología y Ambiente*, el trabajo realizado se inscribe en la modalidad de investigación aplicada<sup>3</sup>, cuyo objeto fue hacer más consistente la lectura de coordenadas y la posiciones planimétricas de un territorio con unas condiciones ambientales específicas. Con ello, se buscó dar apoyo a una planificación del territorio más asertiva a partir de datos espaciales precisos, respaldando y complementando con esto, lo planteado por los documentos del IGAC.

Para la realización de esta investigación aplicada se contó con la experiencia metodológica y técnica acumulada por el programa de postgrado de la Especialización en Medio Ambiente y Geoinformática de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia y su personal docente, la experiencia técnica de los estudiantes firmantes del proyecto, sumado al recorrido

metodológico del asesor temático asignado para la monografía ante el comité de postgrados de la Facultad.

Es de anotar que, por la pertinencia e importancia que tiene la información cartográfica y de sensoramiento remoto en prácticamente todos los ámbitos disciplinares, entre ellos, las ciencias ambientales y de la tierra, el tema del nuevo Sistema de Referencia Colombiano cobra validez en cada discusión científica relacionada con el manejo de datos espaciales.

Haber llegado a un nivel tecnológico como el alcanzado hoy por la humanidad implica cambios culturales y sociales que obligatoriamente trascienden nuestras formas habituales de ver el mundo, o al menos aquellas con las que crecimos o las que tuvieron nuestros padres.

El desarrollo tecnológico de instrumentos de percepción remota, software de procesamiento de datos espaciales y metodologías de análisis asociadas a dichos avances en equipos, son temas comunes en nuestra comunidad global.

Actualmente solo con hacer uso de dispositivos que brindan lecturas de coordenadas en Latitud, Longitud y Altura<sup>4</sup>, saber con certeza dónde me encuentro sobre la superficie terrestre, no

**1. Determinación y aplicación de parámetros de transformación local para escalas cartográficas grandes, como apoyo al proceso de migración de datos de Internacional Bogotá a MAGNA - SIRGAS en una zona del nordeste antioqueño. Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Medio Ambiente y Geoinformática, quinta cohorte.**

**2. Notas de clase de la charla instructiva ofrecida a los estudiantes. Febrero de 2009.**

**3. La investigación aplicada busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren. Aunque la investigación aplicada se encuentra estrechamente vinculada con la investigación básica, a este tipo de investigación, le interesa primordialmente las consecuencias prácticas. (Sagan, 1997)**

**4. Elipsoidal**

importando mis últimos movimientos o las distancias recorridas, es algo que en otro tiempo, llamaríamos *cosa de locos* y que no estaba en los presupuestos de algunas personas. Sin embargo, hoy, se convierten en requerimiento diario, sea por los términos de referencia de un proyecto dado o por el simple ejercicio pedagógico y recreativo de posicionar recorridos por la basta geografía del país.

Para gran parte de los profesionales y las empresas de los sectores privado y público, así como para el medio académico, es común toparse con la sigla GNSS<sup>5</sup> utilizada para referirse al ingreso de nuevas constelaciones satelitales que aumentarán las posibilidades de posicionamiento en todo el mundo. La integran hasta el momento la ya conocida constelación norteamericana GPS<sup>6</sup> o NAVSTAR, la constelación GLONASS<sup>7</sup> rusa y las recién- conocidas constelaciones GALILEO perteneciente a la Unión Europea y COMPASS asiática<sup>8</sup>.

Aunque en la actualidad los sistemas GNSS se encuentran mundialmente en periodo de prueba, con este nuevo concepto, se pretende superar limitaciones inherentes a la constelación NAVSTAR en cuanto a la necesidad de contar con categorías que aumenten la señal y faciliten aún más la navegación y el posicionamiento.

Los sistemas GNSS permiten saber dónde estamos o dónde se encuentra cualquier cosa exactamente cuando necesitamos saberlo. Con toda esta información, de repente, se abre un mundo de posibilidades. Pero... ¿cómo funciona?

Desde el punto de vista conceptual, un GPS es un sistema de medición a distancia basado en los satélites y en el tiempo de avistamiento de los mismos. Ello significa que estamos determinando cuán lejos me encuentro de un satélite dado al momento de encender el receptor en tierra.

A una distancia aproximada de 17.700 km, gira alrededor de nuestro planeta una serie de constelaciones de satélites, cada uno de ellos con relojes atómicos. Estos satélites envían continuamente a la superficie, una señal de radio con información precisa sobre posición y tiempo. Ya en tierra, un receptor GNSS recolecta esas señales y compara la información de posición y tiempo entre cuatro satélites y seguidamente determina su posición en latitud, longitud y altura (Figura 1).

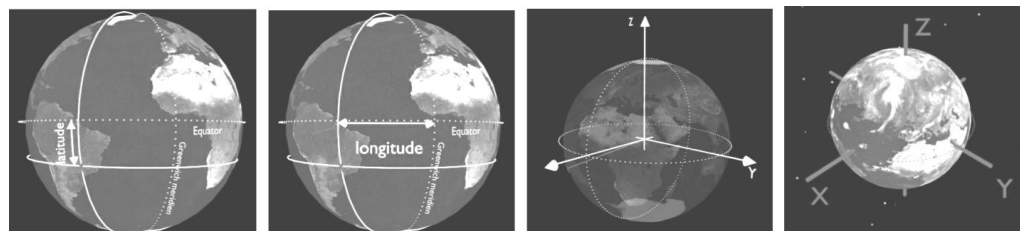


Figura 1. Modo cómo operan las coordenadas Elipsoidales o Geográficas (Fuente ITRF network map)

Dado que el factor tiempo es fundamental para una buena medición, los satélites GNSS poseen 4 relojes atómicos (2 de cesio y 2 de rubidio) cuya precisión es de 1 segundo de error cada 1000 años aproximadamente, el satélite sólo usa un reloj a la vez quedando los otros de repuesto. Estos relojes se encuentran sincronizados desde la tierra con la hora UTC, *Tiempo Universal Coordinado*. De igual forma, los equipos GPS de tierra poseen un reloj común de cuarzo.

La onda de radio GPS viaja a 300.000km/seg (velocidad de la luz) y es omnidireccional, o en otros términos, no posee azimut ni rumbo; no hay un vector de dirección concreto y la señal toma para todos lados, aunque exista una preferencia hacia nuestro planeta dado que los paneles de los satélites están orientados hacia la tierra.

El sistema funciona con el principio de *trilateración* mismo que «determina una posición desconocida midiendo la longitud de los lados de un triángulo, entre el punto desconocido y dos o más puntos conocidos (en este caso los satélites)»<sup>9</sup>.

El receptor recibe entonces la señal del satélite y sincroniza su propio reloj con el de los satélites a través de un proceso comparativo y luego, mide el tiempo ( $T$ ) que demora la onda de radio en llegar al receptor, desde cada uno de los satélites visibles en el cielo. Finalmente, con los tiempos medidos, el receptor calcula y convierte las distancias desde su posición en tierra a cada uno de los satélites de los que recibió señal. La fórmula abreviada del proceso es:

5. *Global Navigation Satellite System*

6. *Global Positioning System*

7. *Global'Naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema. Siglas Rusas*

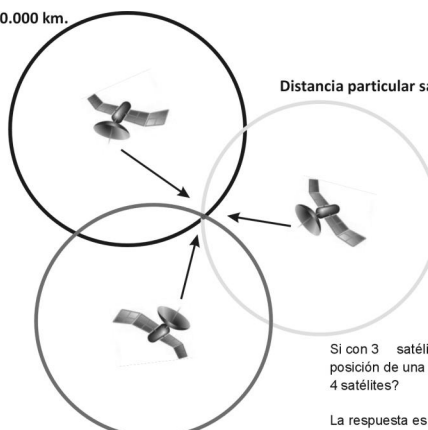
8. *Inside GNSS, 2009*

9. T. FRENCH, Gregory. *Para Comprender el GPS una introducción a los sistemas de posicionamiento global. Georesearch.1998.*

### D= Velocidad X Tiempo

Debido a que el sistema GNSS da la posición y el tiempo, puede decir no sólo hacia donde me moví, sino con qué rapidez lo hice. Se trata entonces de un grupo de satélites que me colocan con precisión en un cuadrante que cubre aproximadamente 600 millones de millas cuadas<sup>10</sup>. Podremos imaginar entonces, qué tan útil puede llegar a ser el hecho de contar con información de este tipo para la vida diaria en los diferentes ámbitos laborales, académicos o de esparcimiento (Figura 2).

Distancia particular satélite A = 20.000 km.



Distancia particular satélite B = 22.000 km.

Distancia particular satélite C = 21.000 km.

Si con 3 satélites se puede determinar nuestra posición de una manera precisa, ¿por qué necesita 4 satélites?

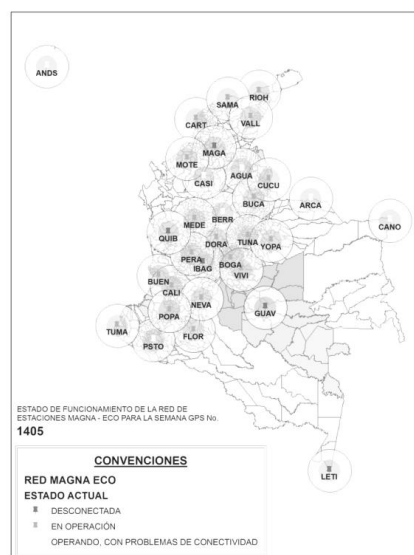
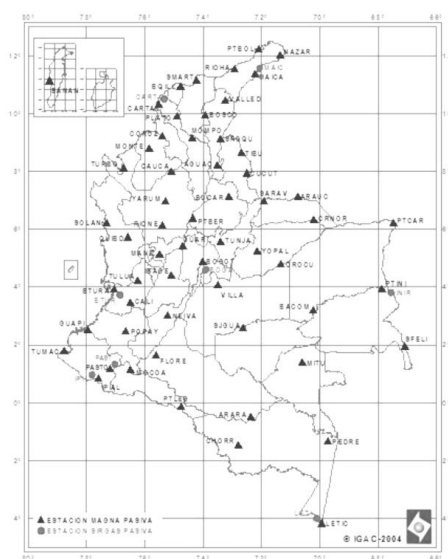
La respuesta es simple, el cuarto satélite funciona como árbitro del tiempo entre el reloj atómico del satélite y el reloj del receptor en tierra.

**Figura 2. Trilateración del sistema GNSS (Fuente: figura personal)**

Pero ¿a qué viene toda esta explicación acerca de los sistemas GNSS? El tema aquí es la *compatibilidad*.

Según la resolución 068 de 2005, el IGAC adopta como Datum oficial de Colombia, el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA- SIRGAS, como único para el país; igualmente el Instituto mantendrá y actualizará MAGNA- SIRGAS considerando las indicaciones sobre sistemas de referencia emanadas de las Asambleas del Proyecto SIRGAS<sup>11</sup>, de la IAG<sup>12</sup>, de la IUGG<sup>13</sup> y del IPGH<sup>14</sup>.

MAGNA está conformada por 60 estaciones pasivas (Red pasiva) de cobertura nacional, ajustadas siguiendo los estándares del servicio GNSS Internacional (IGS) y 37 estaciones de medición continua (MAGNA- ECO) que permiten monitorear las posibles deformaciones del Marco de Referencia como consecuencia de la dinámica terrestre (Figura 3).



**Figura 3. MAGNA- SIRGAS. Redes pasiva y ECO (Fuente: IGAC)**

Cuando hablamos de un nuevo Sistema de Referencia para Colombia y de todo lo que conlleva la migración de datos desde la red ARENA<sup>15</sup>, surgen preguntas básicas: ¿por qué otro sistema?, ¿por qué un nuevo Datum de referencia para la nación?

Antes estas preguntas, el IGAC adelanta campañas informativas que propenden por explicar las razones técnicas y los beneficios que conlleva acercarse a una **compatibilidad** con el resto de países del mundo y una de las razones fundamentales es la utilización masificada de técnicas espaciales en la determinación de coordenadas, especialmente, los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS).

La utilización de sistemas GNSS en diversos ámbitos ha revolucionado la definición de los sistemas de referencia, dejando en desuso los adoptados localmente y exigiendo la migración de los datos geográficos a un sistema de compatibilidad universal, es decir, a sistemas geocéntricos.

En Colombia, el sistema de referencia local corresponde con el Datum BOGOTÁ, adoptado en 1941 y cuyo elipsoide asociado es el Internacional de 1924 o de Hayford (Figura 4). Como se anotó, la red geodésica correspondiente ARENA fue el Marco de Referencia para el Datum clásico y estuvo conformada por aproximadamente 2000 estaciones de primer orden y más de 10000 puntos de orden secundario, pero lo más relevante, fueron los métodos con que se determinó - *no podemos olvidar el momento histórico (1941)*. Levantamientos ópticos clásicos como la triangulación y trilateración se utilizaron para ajustar la totalidad de la red que se concentró en las regiones andina y caribe, las más pobladas del país. (Martínez, 2007)

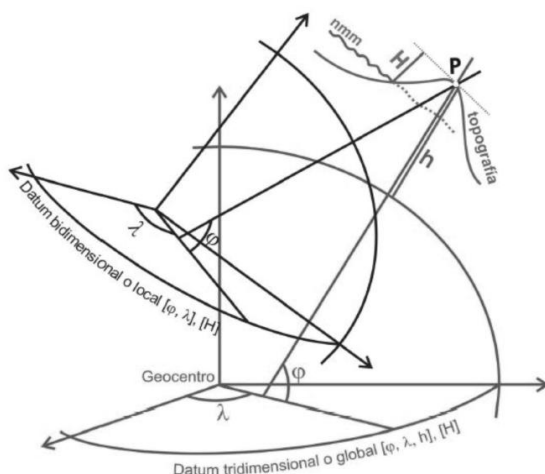


Figura 4. Datum local y geocéntrico (Fuente: IGAC)

El Datum BOGOTÁ está desplazado del geo centro<sup>16</sup> en aproximadamente 500 m, lo que genera inconsistencias del mismo orden al comparar coordenadas superficiales. Esto implica que al representar un levantamiento GNSS sobre la cartografía actual, se encuentran diferencias en las coordenadas geográficas (*latitud y longitud*) de más o menos 200 m en sentido norte- sur y 300 m en sentido este- oeste. La solución inmediata a estas inconsistencias es la utilización de parámetros de transformación (IGAC, 2004).

MAGNA- SIRGAS fue determinado entre 1994 y 1997, pero su adopción se oficializó en el año 2004. El elipsoide asociado al nuevo Sistema se corresponde con el GRS80<sup>17</sup> (Global Reference System 1980), equivalente al WGS84 (World Geodetic System, 1984).

La principal ventaja que ofrece MAGNA- SIRGAS, es que sus coordenadas están en el mismo sistema de referencia de las constelaciones GNSS, garantizando que la alta precisión de las posiciones determinadas en campo, con receptores GPS, se mantengan aún después de representar cartográficamente (en formato digital o en copia dura) la superficie terrestre.(IGAC, 2004).

Las proyecciones Gauss conformes mantienen sus expresiones matemáticas, pero éstas son evaluadas con las constantes del elipsoide GRS80 o MAGNA, y las coordenadas de los

15. Antigua Red Nacional
16. Centro de masa terrestre
17. Equivalente al sistema WGS84 de uso militar; GRS80 de uso civil. Presenta diferencias nominales mas no geométricas.

orígenes definidas sobre MAGNA. El IGAC aclara que los orígenes de proyección tanto para las coordenadas Gauss como para las cartesianas (utilizadas en las ciudades capitales), permanecen en el mismo lugar y los valores de sus coordenadas planas no se modifican. Las variaciones se reflejan en las coordenadas geográficas al ser éstas referidas a MAGNA- SIRGAS y no al Datum Bogotá.

En el horizonte cercano, calcular las proyecciones cartográficas directamente sobre el elipsoide GRS80 o MAGNA evitará el proceso de transformación de Datum<sup>18</sup>, garantizando por un lado, la continuidad de la precisión del posicionamiento GPS y por otro, la utilización de los parámetros calculados para las 8 regiones del país o la búsqueda de parámetros locales como los desarrollados por este estudio que resume en las próximas líneas, sus procesos y resultados.

## 2. METODOLOGÍA

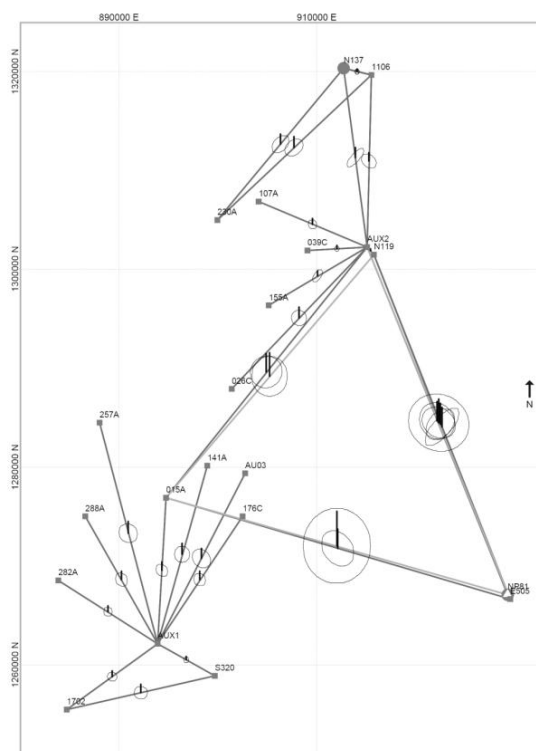
Se trabajó con información espacial de un levantamiento realizado en el año 2006 en una zona restringida del Nordeste antioqueño. Se sometió los puntos de control seleccionados a procesos complejos de ajustes de red en los sistemas ARENA y MAGNA, calibración y obtención de parámetros locales GPS y evaluación de resultados. La captura o el registro de las lecturas de los puntos en campo obedecen a escalas 1:5000.

Las lecturas de campo fueron descargadas en un ordenador que contaba previamente con el programa de postproceso Ashtech Solutions. En dicha interfaz, fueron seleccionados, para procesar, 21 puntos de control que tuvieran un comportamiento espacial óptimo en cuanto a la calidad de sus posiciones y ubicación espacial en el terreno.

Para el cálculo de posicionamiento estático diferencial de los puntos de control de la zona de estudio, se creó un proyecto digital en la interfaz del Ashtech Solution y se procedió a realizar la corrección de vectores o líneas base, con el fin de obtener resultados recomendables, antes de realizar un ajuste radiando coordenadas a partir de los puntos de referencia base<sup>19</sup> (Figura 5).

**18. Parámetros calculados debido a las distorsiones de la red ARENA**

**19. NP81 (Vértice MAGNA ubicado en el municipio de Remedios, Antioquia) y S330 (Vértice ARENA ubicado en el municipio de Amalfi, Antioquia)**



**Figura 5. Procesamiento de vectores, obsérvese como son creadas las respectivas magnitudes (líneas base) entre los puntos de control.**



Las coordenadas ajustadas en MAGNA y Planas Internacional se guardaron para utilizarlas como puntos GPS en la calibración local, proceso mediante el cual se obtienen los parámetros locales (Tablas 1 y 2).

GAUSS MAGNA CON ALTURA ELIPSOIDAL									
Identificador estacion	Descriptor estacion	Estado	Este	Error 95%	Norte	Error 95%	Altura Elipsoidal	Error 95%	Fijo
N137	Np137cn1	Ajustado	912718,938	0,983	1320373,99	0,99	75,378	0	Ver.
1106	V Mojon zarago	Ajustado	915574,04	0,981	1319675,536	0,991	304,016	0,146	
1702	V AX1702 IGAC	Ajustado	884692,61	1,098	1255519,803	1,092	1808,397	1,592	
AUX2	AUX SALTILLO	Ajustado	915175,661	0,891	1302262,138	0,896	190,433	0,54	
AUX1	AUX SALAZAR2	Ajustado	893886,753	1,05	1262180,306	1,044	1571,859	1,44	
141A	Centro Raiz	Ajustado	898921,288	1,207	1280158,857	1,215	941,305	1,506	
176C	Esq NE Casa	Ajustado	902488,435	1,158	1275015,419	1,14	804,665	1,452	
AU03		Ajustado	902757,047	1,256	1279350,56	1,254	335,355	1,475	
039C	Centro arbusto	Ajustado	909078,583	0,914	1301912,418	0,92	228,582	0,615	
155A	Centro arbusto	Ajustado	905176,433	0,972	1296346,623	1,027	159,903	0,764	
026C	Esq Casa	Ajustado	901397,188	1,07	1287887,476	1,08	312,235	1,131	
107A	Esq. E de Casa	Ajustado	904153,994	0,967	1306820,525	0,966	178,874	0,704	
015A	amarre conel salti	Ajustado	894793,784	0,934	1276881,201	0,91	525,832	1,112	
NP81	NP 81cn1	Ajustado	929402,127	0	1267049,188	0	643,683	0	Hor/Ver.
S320	V Santana 320 IGAC	Ajustado	899674,393	1,073	1258930,515	1,07	1859,077	1,516	
288A	P2	Ajustado	886576,347	1,085	1275022,437	1,077	1544,702	1,336	
257A	P2	Ajustado	887969,644	1,111	1284464,686	1,079	900,655	1,277	
282A	P2	Ajustado	883788,437	1,076	1268524,698	1,073	1657,42	1,397	
230A		Ajustado	899985,385	1,092	1304931,912	1,092	258,2	0,69	
N119	NP119CN1	Ajustado	915850,42	0,89	1301465,608	0,896	200,716	0,553	
E505	NPA81-ES505	Ajustado	929606,685	0,038	1266633,098	0,033	640,385	0,064	

**Tabla 1. Reporte del ajuste de los puntos de control en MAGNA desde la fijación de los puntos NP81 y NP137**

GAUSS MAGNA CON ALTURA ORTOMETRICA									
Identificador estacion	Descriptor estacion	Estado	Este	Error 95%	Norte	Error 95%	Altura Ortometrica	Error 95%	Fijo
N137	Np137cn1	Ajustado	912716,486	1,171	1320369,352	1,101	66,828	0	Ver.
1106	V Mojon zarago	Ajustado	915571,605	1,17	1319670,908	1,1	295,495	0,146	
1702	V AX1702 IGAC	Ajustado	884690,7	0,342	1255514,91	0,331	1791,73	1,594	
AUX1	AUX SALAZAR2	Ajustado	893884,786	0,224	1262175,482	0,219	1556,881	1,441	
AUX2	AUX SALTILLO	Ajustado	915173,342	1,095	1302257,517	1,017	180,72	0,54	
141A	Centro Raiz	Ajustado	898919,166	0,636	1280154,094	0,674	928,642	1,507	
176C	Esq NE Casa	Ajustado	902486,338	0,538	1275010,687	0,53	791,821	1,452	
AU03		Ajustado	902754,894	0,725	1279345,852	0,752	322,949	1,476	
039C	Centro arbusto	Ajustado	909076,27	1,114	1301907,753	1,038	218,552	0,615	
155A	Centro arbusto	Ajustado	905174,155	1,162	1296341,936	1,134	149,205	0,764	
026C	Esq Casa	Ajustado	901394,977	1,245	1287882,757	1,18	300,522	1,132	
107A	Esq. E de Casa	Ajustado	904151,646	1,157	1306815,827	1,08	168,972	0,704	
015A	amarre conel salti	Ajustado	894791,66	0,53	1276876,431	0,533	512,454	1,113	
NP81	NP 81cn1	Ajustado	929400,075	1,073	1267044,642	1,07	632,589	0	Ver.
S320	V Santana 320 IGAC	Ajustado	899672,463	0	1258925,715	0	1844,392	1,517	Hor.
288A	P2	Ajustado	886574,297	0,354	1275017,565	0,354	1530,3	1,337	
257A	P2	Ajustado	887967,494	0,427	1284459,851	0,381	887,412	1,278	
282A	P2	Ajustado	883786,436	0,323	1268519,805	0,334	1642,025	1,398	
230A		Ajustado	899983,056	1,264	1304927,182	1,192	247,904	0,69	
N119	NP119CN1	Ajustado	915848,107	1,095	1301460,991	1,018	190,978	0,553	
E505	NP A81 - ES505	Ajustado	929604,636	1,073	1266628,554	1,07	629,285	0,064	

**Tabla 2. Reporte del ajuste de los puntos de control en Gauss-Bogotá desde la fijación de los puntos S330 y NP137**

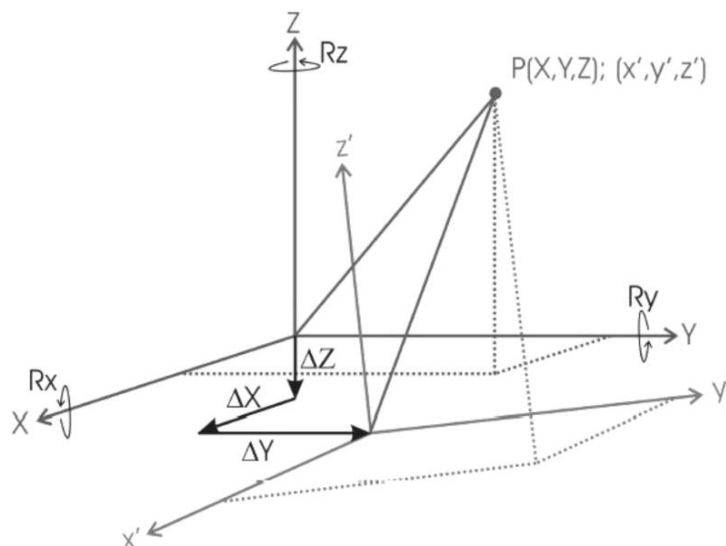
Se usó la calibración local GPS para definir una transformación de Datum y crear parámetros propios de transformación para el área del proyecto. El algoritmo de la transformación de siete parámetros calcula tres valores de traslación<sup>20</sup>, tres valores de rotación<sup>21</sup> y un cambio de escala<sup>22</sup> entre el elipsoide WGS-84 (MAGNA) y el elipsoide para la proyección local, en este caso, et Observatorio Bogotá (Figura 6).

**20. (dX, dY, dZ):** Vector de traslación que debe adicionarse a los vectores posición de los puntos en el sistema de partida a fin de transformarlos al sistema de destino. (IGAC, 2004)

**21. (RX, RY, RZ):** Rotaciones que se deben aplicar al vector posición de los puntos. Se requiere expresar los ángulos en radianes. (IGAC, 2004)

**22. M:** Corrección que se debe hacer a la escala del vector posición en el sistema de partida a fin de obtener la escala correcta en el sistema de destino, expresada en partes por millón. (IGAC, 2004)

**Figura 6. Transformación tridimensional de siete parámetros de Helmert (Fuente IGAC)**



Luego de una serie de procesos iterativos y de la aplicación de operaciones de mínimos cuadrados, considerando puntos comunes con lecturas de coordenadas en los sistemas MAGNA y ARENA, se obtuvieron los *Parámetros de Transformación Local*, acordes a una escala 1:5000 de la zona de estudio planteada por el proyecto. Con esta información, se realizaron las tareas de Transformación y Conversión de los 21 puntos de fotocontrol, haciendo un paralelo con los resultados, después de aplicar los parámetros publicados en la metodología IGAC para la zona V<sup>23</sup> (Figura 7).

Método	Siete parámetros
Rotación alrededor del eje x	-0°00'09,013674"
Rotación alrededor del eje y	0°00'01,927725"
Rotación alrededor del eje z	0°00'28,397395"
Traslación a lo largo del eje x	545,448m
Traslación a lo largo del eje y	-56,721m
Traslación a lo largo del eje z	566,946m
Factor de escala (ppm)	-4,396

Parámetro	Región V
DeltaX [m]	-90.290
DeltaY [m]	247.559
DeltaZ [m]	-21.989
Escala [ppm]	2.182
RotX [s]	-8.697
RotY [s]	-4.188
RotZ [s]	-12.808

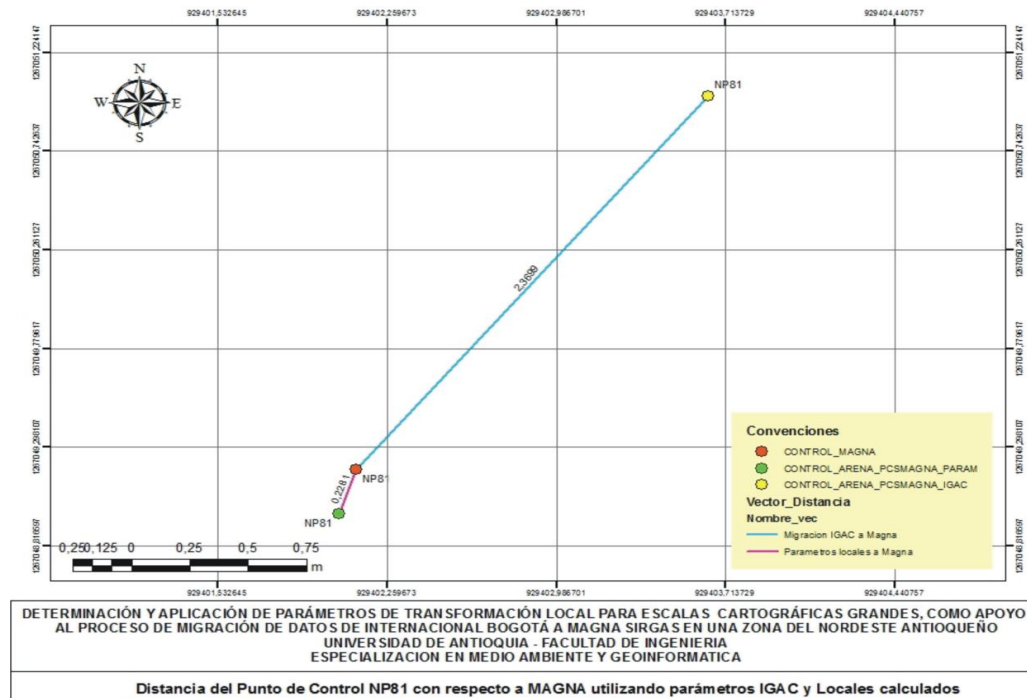
**Figura 7. Parámetros de Transformación Local zona del Nordeste (izquierda); Parámetros IGAC RV (derecha)**

Como resultado de este proceso, se crearon las coberturas SHP *Control\_Arena\_PcsMAGNA\_Param* y *Control\_Arena\_PcsMAGNA\_IGAC*, las cuales contienen la transformación y conversión hacia MAGNA- SIRGAS, utilizando tanto los parámetros locales como los datos IGAC, sobre los 21 puntos de control ajustados inicialmente en el sistema ARENA desde el vértice Santana S320.

Con este proceso, se alcanzaron lecturas de coordenadas en *metros Norte* y *metros Este*, muy cercanas a la cobertura MAGNA original citada en la Tabla 1. El Mapa 1 hace parte de un conjunto de veinte planos a escala, confeccionados con el fin de ilustrar gráficamente las proporciones de las distancias obtenidas por los dos métodos de transformación.

23. Procedimiento para la migración a MAGNA- SIRGAS de la cartografía existente referida al Datum Bogotá, utilizando el software ArcGis.





Mapa 1. Distancia del punto de control NP81 con respecto a MAGNA utilizando parámetros IGAC y Locales calculados.

Estos resultados también se evaluaron en las Tablas 3 y 4 de variación de deltas, diseñadas con el fin de establecer, mediante estadísticos descriptivos, las diferencias encontradas en ambas transformaciones:

**Dx**= Resultado de la diferencia entre las coordenadas Este\_MAGNA y Este migrado IGAC

**Dy**= Resultado de la diferencia entre las coordenadas Norte\_MAGNA y Norte migrado IGAC

**Dt**= Resultado de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de cada delta

Identifica	Este_Migrado_IGAC	Norte_Migrado_IGAC	Este_MAGNA	Norte_MAGNA	Dx	Dy	Dt
N137	912720,416	1320375,965	912718,938	1320373,99	-1,478	-1,975	2,467
1106	915575,536	1319677,498	915574,04	1319675,536	-1,496	-1,962	2,467
1702	884694,080	1255521,594	884692,61	1255519,803	-1,470	-1,791	2,317
AUX2	915177,141	1302264,072	915175,661	1302262,138	-1,480	-1,934	2,435
AUX1	893888,236	1262182,111	893886,753	1262180,306	-1,483	-1,805	2,336
141A	898922,763	1280160,724	898921,288	1280158,857	-1,475	-1,867	2,379
176C	902489,904	1275017,279	902488,435	1275015,419	-1,469	-1,860	2,370
AU03	902758,493	1279352,451	902757,047	1279350,56	-1,446	-1,891	2,380
039C	909080,053	1301914,353	909078,583	1301912,418	-1,470	-1,935	2,430
155A	905177,887	1296348,554	905176,433	1296346,623	-1,454	-1,931	2,417
026C	901398,637	1287889,385	901397,188	1287887,476	-1,449	-1,909	2,397
107A	904155,455	1306822,475	904153,994	1306820,525	-1,461	-1,950	2,437
015A	894795,223	1276883,085	894793,784	1276881,201	-1,439	-1,884	2,370
NP81	929403,639	1267051,013	929402,127	1267049,188	-1,512	-1,825	2,370
S320	899675,901	1258932,293	899674,393	1258930,515	-1,508	-1,778	2,331
288A	886577,828	1275024,277	886576,347	1275022,437	-1,481	-1,840	2,362
257A	887971,099	1284466,573	887969,644	1284464,686	-1,455	-1,887	2,383
282A	883789,912	1268526,524	883788,437	1268524,698	-1,475	-1,826	2,347
230A	899986,842	1304933,858	899985,385	1304931,912	-1,457	-1,945	2,430
N119	915851,901	1301467,539	915850,42	1301465,608	-1,481	-1,931	2,434
E505	929608,197	1266634,923	929606,685	1266633,098	-1,512	-1,825	2,370
Promedio							2,392
Desviación							0,044

Tabla 3. Resultado del análisis estadístico comparativo entre las coordenadas migradas aplicando la metodología IGAC y las lecturas originales MAGNA

**Tabla 4. Resultado del análisis estadístico comparativo entre las coordenadas migradas aplicando los 7 parámetros locales calculados y las lecturas originales MAGNA**

Identifica	Este_Migrado_Parametros	Norte_Migrado_Parametros	Este_Magna	Norte_Magna	Dx	Dy	Dt
N137	912718,940	1320373,997	912718,938	1320373,99	-0,002	-0,007	<b>0,0072</b>
1106	915574,062	1319675,524	915574,04	1319675,536	-0,022	0,012	<b>0,0249</b>
1702	884692,462	1255519,666	884692,61	1255519,803	0,148	0,137	<b>0,2016</b>
AUX2	915175,631	1302262,085	915175,661	1302262,138	0,030	0,053	<b>0,0611</b>
AUX1	893886,632	1262180,160	893886,753	1262180,306	0,121	0,146	<b>0,1898</b>
141A	898921,199	1280158,762	898921,288	1280158,857	0,089	0,095	<b>0,1304</b>
176C	902488,329	1275015,308	902488,435	1275015,419	0,106	0,111	<b>0,1535</b>
AU03	902756,928	1279350,481	902757,047	1279350,56	0,119	0,079	<b>0,1431</b>
039C	909078,539	1301912,378	909078,583	1301912,418	0,044	0,040	<b>0,0595</b>
155A	905176,360	1296346,584	905176,433	1296346,623	0,073	0,039	<b>0,0832</b>
026C	901397,091	1287887,420	901397,188	1287887,476	0,097	0,056	<b>0,1127</b>
107A	904153,948	1306820,513	904153,994	1306820,525	0,046	0,012	<b>0,0480</b>
015A	894793,651	1276881,132	894793,784	1276881,201	0,133	0,069	<b>0,1497</b>
NP81	929402,051	1267048,973	929402,127	1267049,188	0,076	0,215	<b>0,2281</b>
S320	899674,288	1258930,329	899674,393	1258930,515	0,105	0,186	<b>0,2136</b>
288A	886576,252	1275022,341	886576,347	1275022,437	0,095	0,096	<b>0,1349</b>
257A	887969,543	1284464,634	887969,644	1284464,686	0,101	0,052	<b>0,1138</b>
282A	883788,323	1268524,594	883788,437	1268524,698	0,114	0,104	<b>0,1540</b>
230A	899985,328	1304931,902	899985,385	1304931,912	0,057	0,010	<b>0,0576</b>
N119	915850,390	1301465,550	915850,42	1301465,608	0,030	0,058	<b>0,0652</b>
E505	929606,609	1266632,882	929606,685	1266633,098	0,076	0,216	<b>0,2295</b>
Promedio							<b>0,1220</b>
Desviacion							<b>0,0672</b>

### 3. CONCLUSIONES

Algunas de los corolarios que se desprenden de este ejercicio son citados a continuación:

- El proceso de migración se reduce básicamente a un proceso de transformación de coordenadas, ya que busca obtener las coordenadas del mismo punto en dos sistemas de referencia diferentes, cada uno con su propio Datum.
- La migración de la información georreferenciada del antiguo Datum Observatorio Bogotá a MAGNA se realiza a través del uso del modelo de transformación de similitud, incluyendo un refinamiento, si es necesario, a través de una transformación bidimensional afín para corregir deformaciones.
- Contar con parámetros de transformación para una región o zona geográfica específica y la aplicación del modelo de transformación de similitud permite identificar la posición relativa que existiría teóricamente entre el Datum Observatorio Bogotá hacia el Datum Bogotá MAGNA, a partir del juego de coordenadas en ambos sistemas de referencia.
- Dado que la precisión de los parámetros de transformación depende del área y del número de puntos disponibles en los dos sistemas de referencia, y teniendo presente que, debido a las distorsiones de la red geodésica clásica ARENA, los valores de dichos parámetros pueden variar significativamente de un lugar a otro, los parámetros para el modelo de transformación tridimensional de similitud se han determinado para ocho regiones diferentes en el país y son aplicables para la migración de información cartográfica a escalas pequeñas<sup>24</sup> (IGAC, 2004). Lo anterior reivindica la importancia y pertinencia que tiene este ejercicio, pues su objetivo es la determinación y aplicación de parámetros locales para realizar transformaciones del antiguo sistema de referencia colombiano a MAGNA, pero para escalas cartográficas grandes.
- La información de los 21 puntos de fotocontrol de alta precisión del Nordeste antioqueño, al someterse a los procesos de transformación hacia el Datum MAGNA-SIRGAS, aplicando los parámetros consignados en la documentación oficial del Instituto

24. El subrayado es nuestro

y los respectivos parámetros locales obtenidos por este estudio, indican claramente que la precisión horizontal es mucho más cercana hacia las lecturas de coordenadas MAGNA originales luego de realizar la migración de datos haciendo uso de datos locales de transformación, *logrando que los problemas de desplazamiento existente entre ambos sistemas se minimice.*

- La cartografía 1:5000 catalogada como de alta precisión y resolución, tendría, con la aplicación de dichos parámetros, la tranquilidad de mantener todos sus elementos planimétricos dentro de los rangos de tolerancia de error permitidos, incluso muy por debajo de ellos, pues así lo cita la resolución 64 de 1994 del IGAC:

(...) el 90% de los puntos extraídos del mapa (...) deben estar localizados dentro de 0.5mm a la escala del plano de sus posiciones verdaderas. El error medio cuadrático RMS es de 0.30mm a la escala del mapa.

Interpretando lo dicho por la Resolución a la luz de la escala de captura que trabajamos, tenemos:

Escala\_Mapa: 1:5000

Error Horizontal (Eh)= Escala\_Mapa \* 0,0005m

Eh = 5000\*0,0005 m = 2.5m

Desviación\_Estandar= Escala\_Mapa \* 0,00030 m

De = 5000\*0,00030 m = 1,5 m

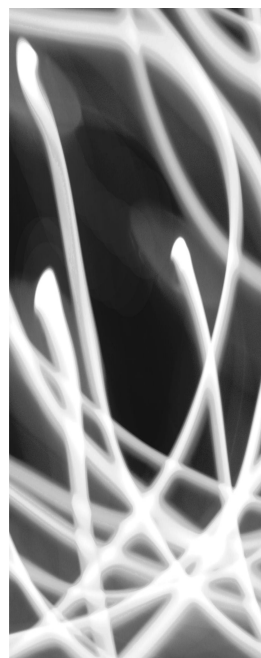
- El proceso de migración, aplicando los parámetros obtenidos, arrojan como desplazamiento sobre la información un promedio de valores en el orden de 0.122 m con una desviación estándar de 0.06 m (tabla 4), lo que representa un valor muy pequeño, considerando la escala de la cartografía (1:5000). Lo anterior significa que el procedimiento aquí presentado conserva la información en magnitudes y geometría, y logra así el objetivo de obtener una mejor posición en el nuevo sistema de referencia Colombiano.

A la luz de las discusiones actuales, respecto a cuáles son las prioridades y las áreas específicas de aplicación de los sensores remotos, la cartografía temática y en general la cartografía básica como apoyo a las investigaciones de la superficie terrestre y el monitoreo del medio ambiente, cobra real importancia la introducción de conceptos y metodologías que busquen que los datos, aún en el clásico Datum Bogotá, sean más precisos, luego de su migración al nuevo sistema MAGNA- SIRGAS, dadas las necesidades de contar con información espacial oportuna y sobre todo, compatible con las nuevas tecnologías de posicionamiento global, altamente demandadas en ámbitos de investigación ambiental (IGAC, 2009).

Por lo tanto, es importante que personas y agremiaciones encargadas de la planificación del territorio presten atención a este tema, porque solo entendiendo que contar con bases cartográficas confiables, se tiene a disposición una verdadera herramienta de apoyo utilizada a nivel mundial para la gestión y la toma de decisiones relacionadas con la conservación, defensa, protección y mejora del medio ambiente.

## AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo no hubiese sido posible sin el compromiso, apoyo y acompañamiento metodológico y técnico del Ingeniero y especialista Catastral y Geodesta Ing. Kelter Humberto Castaño Espinosa, quien, con su paciencia y línea, permite hoy contar con estos resultados.



## BIBLIOGRAFÍA

- Brunini, C., 2007. SIRGAS Boletín 2007. En revista Análisis Geográficos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá. N° 37, pp. 96 - 108.
- Burrough, P.A., 1986. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assesment. Clarendon Press. Oxford.
- French, G.T., 1998. Para Comprender el GPS: Una introducción al Sistema de Posicionamiento. En Prensa.
- Gibbons, J.R., 2009. The Golden Age of GNSS. INSIDE GNSS. Vol.4, N° 6 (Nov.- Dic.); pp. 10- 11.
- Gibbons, J.R., 2008. Limits of Imaginations. INSIDE GNSS. Vol.3, N° 4 (May- Jun); pp.10- 12.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2004. Adopción del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA- SIRGAS como Datum Oficial de Colombia. Subdirección de Geografía y Cartografía. División de Geodesia, Bogotá.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2004. Aspectos prácticos de la adopción del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA- SIRGAS como Datum Oficial de Colombia. Subdirección de Geografía y Cartografía. División de Geodesia, Bogotá.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2004. Parámetros oficiales de transformación para migrar a MAGNA- SIRGAS la información existente en Datum Bogotá. Subdirección de Geografía y Cartografía. División de Geodesia, Bogotá.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2004. Procedimiento para la migración a MAGNA- SIRGAS de la Cartografía existente referida al Datum Bogotá, utilizando el software ArcGis de ESRI. Subdirección de Geografía y Cartografía. División de Geodesia, Bogotá.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2000. Análisis geográficos. Comisión Colombiana del Espacio III. Edición Especial. Bogotá. Vol., N° 40; 206 P.
- Martínez, W., 2007. Realización del marco de referencia SIRGAS en Colombia. En: Revista Análisis Geográficos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá. N° 37, pp.109- 118.
- Sagan, C., 2007. La diversidad de la ciencia: Una visión personal de la búsqueda de Dios. Ediciones Planeta. Barcelona.

