

ANDREA GALUDHT SANTACRUZ JARAMILLO

**INTEGRACIÓN DE LAS REDES VERTICALES SUDAMERICANAS: INVENTARIO
EN VISTA DE LOS TÉRMINOS DE REFERENCIA DE SIRGAS/GGOS.**

Disertación presentada al Curso de Posgrado en Ciencias Geodésicas de la Universidad Federal de Paraná, como parte de las exigencias para la obtención del título de Máster en Ciencias Geodésicas.

Orientador: Prof. Dr. Sílvio Rogério Correia de Freitas

Co-Orientadora: Prof^a. Dra. Silvana Philippi Camboim

CURITIBA

2015

S231i

Santacruz Jaramillo, Andrea Galudht

Integración de las redes verticales sudamericanas: inventario en vista de los términos de referencia de SIRGAS/GGOS / Andrea Galudht Santacruz Jaramillo. – Curitiba, 2015.

132 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, 2015.

Orientador: Sílvio Rogério Correia de Freitas, Coorientadora: Silvana Philippi Camboim.

Bibliografia: p. 108-116.

1. Redes (Geodesia). 2. Sistema de Posicionamento Global. 3. Inventário – Metadados. I. Freitas, Sílvio Rogério Correia de. II. Camboim Silvana Philippi. III. Universidade Federal do Paraná. IV. Título.

CDD: 526.982

TERMO DE APROVAÇÃO

ANDREA GALUDHT SANTACRUZ JARAMILLO

"INTEGRAÇÃO DAS REDES VERTICAIS SUL – AMERICANAS: INVENTÁRIO EM VISTA DOS TERMOS DE REFERÊNCIA DO SIRGAS/GGOS"

Dissertação nº 278 aprovada como requisito parcial do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:



Prof. Dr. Sílvio Rogério Correia de Freitas
Departamento de Geomática, UFPR



Profª. Drª. Regiane Dalazoana
Departamento de Geomática, UFPR



Profª. Drª. Luciene Stamató Delazari
Departamento de Geomática, UFPR

Curitiba, 24 de fevereiro de 2015.

Dedico esta disertación a mi hijo David Alejandro “mi compañerito de vida”, por ser la persona más importante en mi vida, por darme amor infinito y verdadero, el cual permitió dar inicio y término a esta meta que fue un verdadero desafío.

También dedico este trabajo a mi familia, principalmente a mi Papi Alvaro, por ser mi grande e incondicional apoyo durante todo el tiempo que estuve fuera de Ecuador. En especial por cuidar a mi hijo con mucho amor, como si fuera suyo.

AGRADECIMIENTOS

A mi David Alejandro, a mis papás Alvaro y Galudht y a mis hermanos Belén, Carla y Carlos Andrés, que estuvieron siempre pendientes de mí, dándome fuerza y apoyo en todo momento. Sin ustedes nunca hubiera alcanzado esta meta!! Gracias de todo corazón!!

A mis abuelitos, tías, tíos, primas y primos, por creer en mí y por ayudarme directa o indirectamente sin esperar nada a cambio.

Al Gobierno de la República del Ecuador, por darme la oportunidad de obtener la beca de estudios mediante la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación – SENESCYT y del Instituto Ecuatoriano de Crédito Educativo y Becas – IECE.

Al Curso de *Pós-Graduação em Ciências Geodésicas* - CPGCG de la *Universidade Federal do Paraná* – UFPR por la disponibilidad del espacio para el desarrollo de la presente investigación. A los docentes del CPGCG, por las excelentes enseñanzas impartidas, por su consideración y respeto. A mis compañeros del Curso, por su cariño y ayuda durante los dos años de maestría.

A mi orientador, Profesor Sílvio de Freitas, por su tiempo, dedicación y por la confianza que depositó en mí. Por ser una excelente persona, amigo, por ser un apoyo y guía en todo momento, por las oportunidades que me brindó, por creer en mí y por ayudarme en las dificultades que tuve. Gracias a su familia, en especial a su esposa, Señora Lindamir, por la gran acogida y cariño.

A mi Co-Orientadora, Profesora Silvana Camboim, por sus grandes ideas y tiempo para el desarrollo de esta investigación.

Al Profesor Alfonso Tierra, por haberme incentivado para continuar con mis estudios y por estar siempre dispuesto a ayudar.

A mis amadas amigas Ange, Lore y Rous, por estar tan unidas y tan cerca a pesar de la distancia. Por alentarme y darme fuerzas en todo momento.

A Leone, por hacer mi vida más feliz y estar conmigo siempre que lo necesito, sin importar la distancia y el tiempo. Gracias por cambiar mi vida para mejor.

A mis amigos de la “colonia Perú-Ecuatoriana” Sebas, José Luis, Ilich y Ale, por una amistad sincera y por su ayuda incondicional. En especial a Lucy, por ser mi consejera, mi confidente y por brindarme una amistad que estoy feliz y agradecida de tener.

A mis amigos Ruth, Rhaíssa, Stefanie, Mel, Vania, Luiz, Bianca, Pri, Nívia, Vinícius, Luana, Dhafne, Allan, Dani, que supieron acogirme en su país con mucho cariño y me hicieron sentir como en casa. En especial a Aligia, quien fue mi amiga de aventuras, por estar conmigo en los buenos y malos momentos, por brindarme su amistad sincera y abrirme la puerta de su casa.

A mis amigos Paty, Pauli, Lida, Juanito, Kary, Alex, Santy, que estuvieron pendientes de mí en todo momento. A Lali, por su cariño y amistad, la cual nunca me abandonaba cuando más necesitaba de cariño, apoyo y fuerzas.

A mis compañeros y amigos del LARAS, por sus consejos y ayuda siempre que lo necesitaba.

A todas las demás personas y circunstancias que hicieron que este sea uno de los logros más importantes de mi vida, el cual me hizo crecer personal y profesionalmente.

Todo sacrificio tiene su recompensa.

Julio Cesar Ramos

RESUMO

Na atualidade, as atividades centrais da Geodesia têm sido dirigidas em apoio à formação de Infraestruturas de Dados Espaciais (IDE) voltadas para sistemas de observação da Terra. Tal é o foco do Global Geodetic Observing System (GGOS) suportado pela International Association of Geodesy (IAG). O Nível 1 do GGOS se refere à infraestrutura geodésica terrestre, a qual está formada pelas redes geodésicas de referência terrestres materializadas, estações de monitoramento contínuo, missões dedicadas, centro de dados e de análises. Diversos processos de monitoramento planetário, no contexto do GGOS, apresentam exigências de precisão relativa no referenciamento global que podem atingir a uma parte por bilhão (1ppb). Tal é o caso dos Sistemas Verticais de Referência (SVR) e suas materializações regionais e globais. Os SVRs assumiram papel preponderante, cumprindo com suas funções usuais em caráter regional e nacional, e sendo o fundamento para o monitoramento de processos físicos associados a mudanças no Sistema Terra. Desta forma foi estabelecida uma exigência implícita de caráter físico às Redes Verticais de Referência Nacionais (RVRN) além de suas integrações a um Sistema Vertical de Referência Global (SVRG). O Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), respeito com seu Grupo de Trabalho III (SIRGAS-GTIII), procura atender às exigências do IAG/GGOS. Busca o desenvolvimento de atividades voltadas à modernização das RVRNs na América do Sul, Central e Caribe com a atribuição de significado físico às altitudes em cada país com base em números geopotenciais e promovendo suas integrações a um SVRG, consideradas suas heterogeneidades. O SIRGAS-GTIII tem estabelecido diretrizes, metodologias e termos de referência para o cumprimento destas tarefas que são discutidos neste trabalho. De forma central são propostas ações fundamentais para a modernização das RVRN no contexto do SIRGAS-GTIII. Também se considerou as normas da International Organization for Standardization, especificamente a ISO 19115 da ISO/TC 211 (Informação Geográfica/Geomática) para o uso e administração de dados espaciais e metadados. Com essas bases desenvolveu-se a metodologia do inventário das redes verticais baseadas em metadados, de acordo com os preceitos mais atuais, para o contexto do SIRGAS-GTIII na América do Sul, apontando com a futura criação de uma IDE para as Américas, segundo os objetivos de UN-GGIM Américas. Um estudo de caso relativo à RVRN do Equador é apresentado.

Palavras chaves: Sistemas e Redes Verticais de Referência Nacionais e Global; Inventário; IDE; SIRGAS; GGOS.

RESUMEN

En la actualidad, las actividades centrales de la Geodesia están dirigidas para dar apoyo a la formación de una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) encaminadas hacia los sistemas de observación de la Tierra. Así es el enfoque del *Global Geodetic Observing System* (GGOS) soportado por la *International Association of Geodesy* (IAG). El nivel 1 de GGOS se refiere a la infraestructura geodésica terrestre, la cual está formada por las redes geodésicas de referencia terrestres materializadas, estaciones de monitoreo continuo, centro de datos y de análisis. Diversos procesos de monitoreo planetario, en el contexto de GGOS, presentan exigencias de precisión relativa en el referenciamiento global que pueden llegar a una parte por billón (1ppb). Tal es el caso de los Sistemas Verticales de Referencia (SVR) y sus materializaciones regionales y globales. Los SVRs asumieron un papel preponderante en el contexto presentado, ya que a más de cumplir sus funciones usuales en carácter regional y nacional, son fundamentales para el monitoreamiento de procesos físicos asociados a cambios en el Sistema Tierra. De esta forma, fue establecida una exigencia implícita de carácter físico para las Redes Verticales de Referencia Nacionales (RVRNs) a más de sus integraciones a un Sistema Vertical de Referencia Global (SVRG). El Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS), referente a su Grupo de Trabajo III (SIRGAS-GTIII), busca atender las exigencias de IAG/GGOS. Procura desarrollar actividades dirigidas a la modernización de las RVRNs en América del Sur, Central y El Caribe, considerando el significado físico de las alturas en cada país con base en números geopotenciales y promoviendo sus integraciones a un SVRG, considerando sus heterogeneidades. SIRGAS-GTIII tiene establecido directrices, metodologías y términos de referencia para el cumplimiento de estas tareas que son discutidas en este trabajo. De forma central son propuestas acciones fundamentales para la modernización de las RVRNs en el contexto de SIRGAS-GTIII. También se consideró las normas de la *International Organization for Standardization*, específicamente la ISO 19115 de la ISO/TC 211 (Información Geográfica / Geomática) para el uso y administración de datos espaciales y metadatos. Con esas bases se desarrolló la metodología del inventario de las redes verticales basadas en metadatos, de acuerdo con los preceptos más actuales, para el contexto de SIRGAS-GTIII en América del Sur, apuntando con la futura creación de una IDE para las Américas, según los objetivos de UN-GGIM Américas. Un estudio de caso referente a la RVRN del Ecuador es presentado.

Palabras claves: Sistemas y Redes Verticales de Referencia Nacionales y Global; Inventario; IDE; SIRGAS; GGOS.

ABSTRACT

Nowadays, the central activities in Geodesy are directed for supporting the constitution of spatial data infrastructure (SDI) directed for Earth observing systems. This is the central purpose of the Global Geodetic Observing System (GGOS) supported by the International Association of Geodesy (IAG). In the GGOS Level 1 is the geodetic terrestrial infrastructure formed by the realized terrestrial geodetic reference frames, continuous monitoring stations, dedicated spatial missions, data centers and analysis centers. Several planetary monitoring process in the GGOS context present relative precision requirements on the spatial referencing tasks in the order of one part per billion (1ppb). This is the case of the Vertical Reference Systems (VRS) definitions and their regional and global materializations in frames. The VRSs became fundamental for monitoring the physical process related to the changes in Earth's System, mainly because masses redistribution. This fact imposes an implicit exigency related to physical aspects linked to the National Vertical Reference Networks (NVRN) and the implicit need for integrating them to a Global Vertical Reference System (GVRS). The SIRGAS project (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas) in the context of its Working Group III (SIRGAS-WGIII) aims to accomplish the statements of IAG/GGOS. The tasks are directed for developing activities in the sense for modernizing NVRNs in South and Central Americas as well as Caribbean region by attributing physical meaning for heights. For this, the basis is centered in geopotential numbers and promoting their integration with a GVRS considering their heterogeneities. The SIRGAS-WGIII has established procedures, strategies and reference thermos for accomplishing the referred tasks which are discussed in this work. As central subjects is the proposition of fundamental actions for modernizing NVRN in the context of SIRGAS WGIII. It was also considered the Standard established by the International Organization for Standardization, directed to geographic and geomatic information, the ISO 19115 da ISO/TC 211 related to the use and administration of spatial data and metadata. The basis for that are in developing inventory methodology on vertical related data in South America by taking into account the present IAG/GGOS/SIRGAS-WGIII standards and for building a future Spatial Data Infrastructure for the Americas in accordance with the UN-GGIM Americas. A case study on a NVRN related to Ecuador is presented.

Key words: National and Global Vertical Reference Systems and Frames; Inventory; SDI; SIRGAS; GGOS.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ESTRUCTURA GENERAL DE LA IAG.....	28
FIGURA 2 - PILARES FUNDAMENTALES DE LA GEODESIA.....	29
FIGURA 3 - PLAN DE ACCIÓN GGOS (2011 - 2015).....	38
FIGURA 4 – EVOLUCIÓN DE LAS COMPONENTES DE LA IAG.....	39
FIGURA 5 - ESTABLECIMIENTO DEL SVRS	48
FIGURA 6 - RED MUNDIAL IGSN-71	53
FIGURA 7 - RED MUNDIAL IAGBN.....	53
FIGURA 8 - INTERFACE DE AGRAV.....	54
FIGURA 9 - GENERADORES DE INFORMACIÓN	57
FIGURA 10 - USO DE LOS METADATOS.....	58
FIGURA 11 - ESQUEMA GENERAL DE LA METODOLOGÍA.....	70
FIGURA 12 - DIAGRAMA DE CASO DE USO PARA SIRGAS-GTIII	80
FIGURA 13 - DIAGRAMA DE CASO DE USO PARA ECUADOR	81
FIGURA 14 - USO DE LA INFORMACIÓN GEODÉSICA.....	83
FIGURA 15 - CONEXIÓN DE PAÍSES.....	84
FIGURA 16 – DISTRIBUCIÓN DE LA RED GEOMÉTRICA DE REFERENCIA SIRGAS-ECUADOR.....	88
FIGURA 17 - UBICACIÓN DEL DATUM VERTICAL "LA LIBERTAD"	90
FIGURA 18 - UBICACIÓN DE CIRCUITOS DE NIVELACIÓN EN ECUADOR CONTINENTAL	92
FIGURA 19 - UBICACIÓN DE PUNTOS GRAVIMÉTRICAS EN ECUADOR.....	94
FIGURA 20 - LOCALIZACIÓN GENERAL DEL ÁREA SIN INFORMACIÓN EN ECUADOR CONTINENTAL	97

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 – BIVAS.....	60
Tabla 2 – BIDAS.....	61
Tabla 3 - PLANTILLA DE METADATOS	66
Tabla 4 - DATOS GEOGRÁFICOS DE ESTUDIO	75
Tabla 5 - TIPOS DE COMBINACIÓN DE DATOS.....	78
Tabla 6 - CDG RED GEOMÉTRICA DE REFERENCIA SIRGAS	87
Tabla 7 - CDG DVE.....	89
Tabla 8 - CDG RVRE	90
Tabla 9 - CDG RGE	92
Tabla 10 - EJEMPLO DE DATO H “PUNTOS DE FRONTERA”	94
Tabla 11 - EJEMPLO DE DATO I “ÁREA SIN INFORMACIÓN”	95
Tabla 12 - METADATOS GENERALES	98
Tabla 13 - PLANTILLA PARA RGRS.....	100
Tabla 14 - PLANTILLA DEL DV	101
Tabla 15 - PLANTILLA DE LA RVR	102
Tabla 16 - PLANILLA DE LA RG.....	103

LISTA DE SIGLAS

CDG	- Conjunto de Datos Geográficos
CEPGE	- Centro de Procesamiento de Datos GNSS del Ecuador
CHAMP	- <i>Challenging Minisatellite Payload</i>
CP-IDEA	- Comité Permanente para la Infraestructura de Datos Geoespaciales de las Américas
CVRS	- <i>Conventional Vertical Reference System</i>
DB	- <i>DataBase</i>
DV	- <i>Datum Vertical</i>
DVE	- <i>Datum Vertical del Ecuador</i>
EGM2008	- <i>Earth Gravitational Model 2008</i>
GEO	- <i>Group on Earth Observation</i>
GEOSS	- <i>Global Earth Observation System of Systems</i>
GGMs	- <i>Global Geopotential Models - Modelos Globales del Geopotencial (MGGs)</i>
GGOS	- <i>Global Geodetic Observing System</i>
GNSS	- <i>Global Navigation Satellite System</i>
GOCE	- <i>Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer</i>
GPS	- <i>Global Positioning System</i>
GRACE	- <i>Gravity Recovery and Climate Experiment</i>
GRS80	- <i>Geodetic Reference System 1980</i>
GSDI	- <i>Global Spatial Data Infrastructure Association</i>
GVRF	- <i>Global Vertical Reference Frame - Red Vertical de Referencia Global (RVRG)</i>
GVRS	- <i>Global Vertical Reference System - Sistema Vertical de Referencia Global (SVRG)</i>
IAG	- <i>International Association of Geodesy</i>
IAGBN	- <i>International Absolute Gravity Basestation Network</i>
IAG ICP 1.2	- <i>IAG Inter-Commission Project 1.2: Vertical Reference Frames</i>
IAS	- <i>International Altimetry Service</i>
IBGE	- <i>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</i>
ICGEM	- <i>International Centre for Global Earth Models</i>
ICCT	- <i>Inter-Commission Committee on Theory</i>
ICSU	- <i>International Council for Science</i>
IDE	- <i>Infraestructura de Datos Espaciales</i>
IDEE	- <i>Infraestructura de Datos Espaciales de España</i>
IERS	- <i>International Earth Rotation and Reference Systems Service</i>
IGAC	- <i>Instituto Geográfico Agustín Codazzi</i>
IGFS	- <i>International Gravity Field Service</i>
IGGOS	- <i>Integrated Global Geodetic Observing System</i>
IGM	- <i>Instituto Geográfico Militar del Ecuador</i>

IGSN-71	- <i>International Gravity Standardization Net 1971</i>
IPGH	- Instituto Panamericano de Geografía e Historia
ISO	- <i>International Organization for Standardization</i>
ISO/TC 211	- <i>Geographic information/Geomatics</i> - Información Geográfica / Geomática
ITRF	- <i>International Terrestrial Reference Frame</i>
ITRS	- <i>International Terrestrial Reference System</i>
IUGG	- <i>International Union of Geodesy and Geophysics</i> - Unión Internacional de Geodesia y Geofísica
JSG	- <i>Joint Study Groups of IAG</i>
JWG	- <i>Joint Working Groups of IAG</i>
JWG 0.1.1-VDS	- <i>Joint Working Group 0.1.1: Vertical Datum Standardisation</i>
LAMP	- <i>Latin American Metadata Profile</i> - Perfil Latinoamericano de Metadatos
MDA	- Modelo Digital de Alturas
MDT	- <i>Mean Ocean Dynamic Topography</i>
MGB	- <i>Perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil</i>
MSS	- <i>Mean Sea Surface</i>
NMM	- Nivel Medio del Mar
OEA	- Organización de los Estados Americanos
OMG	- <i>Object Management Group</i>
ONU	- Organización de las Naciones Unidas
PEM	- Perfil Ecuatoriano de Metadatos
PVCG	- Problema de Valor de Contorno de la Geodesia
REGME	- Red GNSS de Monitoreo Continuo de Ecuador
RENAGE	- Red Nacional GPS del Ecuador
RENEGA	- <i>Rede Nacional de Estações Gravimétricas Absolutas do Brasil</i>
RG	- Red Gravimétrica
RGE	- Red Gravimétrica del Ecuador
RGeRS	- Red Geométrica de Referencia SIRGAS
RHS	- <i>Regional Height Systems</i>
RVR	- Red Vertical de Referencia
RVRE	- Red Vertical de Referencia del Ecuador
RVRN	- Red Vertical de Referencia Nacional
RVRS	- Red Vertical de Referencia SIRGAS
SC	- <i>Sub-Commissions of IAG</i>
SC 1.3b	- <i>Sub-Commissions Regional Reference Frames, South and Central America</i>
SIG	- Sistema de Información Geográfica
SIRGAS	- Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas
SIRGAS-CON	- Red de Monitoreamiento Continuo de SIRGAS
SIRGAS-GTI	- Grupo de Trabajo I de SIRGAS: Sistema de Referencia
SIRGAS-GTII	- Grupo de Trabajo II de SIRGAS: SIRGAS en Ámbitos Nacionales
SIRGAS-GTIII	- Grupo de Trabajo III de SIRGAS: <i>Datum Vertical</i>

SSTop	- Sea Surface Topography - Topografía del Nivel Medio del Mar (TNMM)
SVRN	- Sistema Vertical de Referencia Nacional
SVRS	- Sistema Vertical de Referencia SIRGAS
TIGA	- <i>Tide Gauge Benchmark Monitoring Pilot Project</i>
TNMM	- Topografía del Nivel Medio del Mar
TRF	- <i>Terrestrial Reference Frame</i>
UML	- <i>Unified Modeling Language</i>
UNESCO	- <i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>
UN-GGIM Américas	- Comité Regional de las Naciones Unidas sobre la Gestión Global de Información Geoespacial para las Américas
WHS	- <i>World Height System</i> - Sistema Global de Alturas (SGA)
WHS-PP	- <i>World Height System - Pilot Project</i>
XML	- <i>eXtensible Markup Language</i>

CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN	17
1.1 PROBLEMA	21
1.2 HIPÓTESIS	22
1.3 JUSTIFICACIÓN	22
1.4 OBJETIVOS	23
1.4.1 Objetivo General	23
1.4.2 Objetivos Específicos	23
1.5 CONTRIBUCIÓN DEL TRABAJO	24
1.6 ESTRUCTURA DE LA DISERTACIÓN	24
2 REVISIÓN DE LITERATURA	27
2.1 ORGANIZACIONES CIENTÍFICAS BAJO LA VISIÓN DE LA GEODESIA	27
2.1.1 Asociación Internacional de Geodesia (IAG)	27
2.1.1.1 IAG Inter-Comisión 1.2: Marco de Referencia Vertical (ICP 1.2)	30
2.1.1.2 WHS-PP	32
2.1.1.3 Sistema Global de Observación Geodésica (GGOS)	35
2.1.2 Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS)	39
2.1.2.1 SIRGAS-GTIII	40
2.2 SISTEMA VERTICAL DE REFERENCIA GLOBAL (SVRG)	42
2.2.1 Sistemas Verticales de Referencia Nacionales (SVRNs)	44
2.2.2 Sistema Vertical de Referencia SIRGAS (SVRS)	46
2.2.2.1 Problema del Valor de Contorno de la Geodesia (PVCG)	48
2.2.2.2 Números Geopotenciales	50
2.2.3 Gravimetría	52
2.2.3.1 Redes Gravimétricas	52
2.2.4 Nuevas plataformas para obtención de información gravimétrica	55
2.2.4.1 Gravimetría por satélite	55

2.2.4.2 Modelos Globales del Geopotencial – MGGs.....	56
2.3 ESTÁNDARES PARA LA INFORMACIÓN	57
2.3.1 Consorcio de SIG Abiertos (OGC)	63
2.3.2 Organización Internacional para la Normalización (ISO)	63
2.3.2.1 El ISO/TC 211 Información Geográfica / Geomática	64
2.3.3 UN-GGIM Américas	66
3 METODOLOGÍA.....	70
3.1 TÉRMINOS DE REFERENCIA DE SIRGAS/IAG/GGOS.....	71
3.1.1 Información de Redes verticales y gravimétricas: visión nacional y global.	72
3.2 NORMAS PARA EL INVENTARIO BASADO EN DATOS Y METADATOS.....	74
3.2.1 Datos Geográficos	75
3.2.2 Conjuntos de Datos Geográficos	77
3.2.3 Tipos de Combinación de Datos.....	78
4 RESULTADOS	80
4.1 DIAGRAMAS DE CASO DE USO.....	80
4.2 DIAGRAMA DE CLASES.....	81
4.3 ESTRATEGIAS DE SOLUCIÓN	82
4.3.1 Ejemplos de estrategias para unificar los SVRNs y su vinculación al SVRG..	84
4.3.2 Estrategias de Solución para el caso de estudio de Ecuador.	86
4.4 PROPUESTA DE PLANILLAS DE METADATOS.....	97
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	105
5.1 CONCLUSIONES	105
5.2 RECOMENDACIONES.....	107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108
APÉNDICES	117

1 INTRODUCCIÓN

Globalmente, existen organizaciones y servicios científicos que buscan generar geoinformación con precisión y confiabilidad necesaria para aplicaciones en los más diversos campos de actividades. Estas informaciones de forma específica y en función de su aplicabilidad, son las necesarias para el desarrollo de estudios y proyectos enfocados en la solución de problemas referentes a la dinámica del Sistema Tierra, englobando investigaciones en las diferentes ramas de la Geodesia. La nueva visión de la Geodesia está direccionada hacia el uso de modernas herramientas para la obtención de información espacialmente referenciada.

La Asociación Internacional de Geodesia (*International Association of Geodesy* – IAG) es la organización que se dedica a la coordinación de todas las actividades de la Geodesia en el planeta y, en especial, tiene un enfoque central en la investigación de frontera de esta Ciencia. Está estructurada en diferentes Servicios Científicos, Comisiones, Sub-Comisiones e Inter-Comisiones, que permiten generar investigación en ramas específicas como: Sistemas de Referencia; Campo de la Gravedad Terrestre; Rotación de la Tierra y Geodinámica; Posicionamiento y sus aplicaciones. Fue creada la Inter-Comisión 1.2 (*IAG Inter-Commission Project 1.2: Vertical Reference Frames* – IAG ICP 1.2) con el propósito de establecer convenciones para la definición del Sistema Global de Alturas - SGA (conocido en inglés como *World Height System* – WHS) o Sistema Vertical de Referencia Global – SVRG (*Global Vertical Reference System* – GVRS) y su materialización a través de la Red Vertical de Referencia Global – RVRG (*Global Vertical Reference Frame* - GVRF) basado en el geopotencial. Dicha información puede ser consultada en Ihde *et al.* (2007): *Conventions for the Definition and Realization of a Conventional Vertical Reference System* (CVRS).

Para cumplir con este objetivo, fue necesaria la creación de varios proyectos de apoyo, para dar continuidad con los objetivos y para evaluar estas convenciones.

En 2011 la IAG, integró los trabajos designados a la IAG ICP 1.2 al proyecto *Global Geodetic Observing System* (GGOS) con el objetivo de recopilar los datos geodésicos globales para generar una infraestructura y base científica interoperable

que servirá en los estudios referentes al cambio global en Ciencias de la Tierra. Esto permite la relación de la Geodesia con otras ciencias, generando estudios y aplicaciones prácticas interdisciplinarias en bien de la sociedad. Para el desarrollo de las actividades planteadas, el proyecto GGOS como sistema de observación, se encuentra dividido por niveles, los cuales especifican las áreas de acción. El Nivel 1 se refiere a la infraestructura geodésica terrestre, el cual está formado por las redes terrestres materializadas, estaciones de monitoreo continuo, centro de datos y de análisis, el cual se adapta a nuestra línea de estudio. El proyecto GGOS usa los servicios de la IAG como base fundamental para alcanzar los objetivos planteados, como la generación de productos.

Siguiendo la línea de investigación, el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas – SIRGAS (SC 1.3b: *South and Central America – Regional Reference Frames*), el cual pertenece a la Comisión 1: *Reference Frames* de la IAG, mediante la Sub-Comisión 1.3: *Regional Reference Frames*, y cuenta con Grupos de Trabajo para desarrollar sus actividades específicas. El Grupo de Trabajo III: *Datum Vertical* (SIRGAS-GTIII), busca la creación de un sistema unificado de referencia vertical común para los países miembros de SIRGAS. Para atender este objetivo, diversos autores como De Freitas *et al.* (2002), Drewes *et al.* (2002) y Sánchez y Luz (2011) entre otros, comenzaron con el estudio de cómo hacer posible esta unificación. Considerando las contribuciones de los autores, se visa la necesidad de implementar o adaptar a las condiciones locales, convenciones globales como complemento. Dichas convenciones globales fueron creadas para la definición y realización de un SVRG (IHDE *et al.*, 2007). Por esta razón, se usa los términos de referencia de la SIRGAS/IAG/GGOS (KUTTERER *et al.*, 2012), que dan directrices sobre la unificación de un SVRG y que actualmente es la base para todo tipo de investigación que envuelve el estudio de la dinámica terrestre y su aplicabilidad a la sociedad.

Considerando estos puntos, se denota la importancia que tiene las relaciones entre organizaciones con fines comunes. En este caso, el de buscar la unificación de las RVRNs para el establecimiento de un Sistema Vertical de Referencia SIRGAS (SVRS) con una vinculación futura a un Sistema Vertical de Referencia Global (SVRG) y la estandarización y difusión de los datos y metadatos interoperables, para generar herramientas de acceso para el usuario.

El problema de esta unificación se basa en la incompatibilidad de los datos existentes de las redes nacionales debido a que su establecimiento se lo realizó con diversas metodologías, bajo diferentes *data* verticales, con épocas distintas de realización. En general, estas realizaciones no consideran aspectos geodinámicos, entre otros factores importantes para ser tomados en cuenta. Con lo expuesto, se puede recalcar que las redes verticales presentan considerables discrepancias entre países, las cuales no permiten el intercambio consistente de geoinformación. Por lo tanto, no son aptos para la determinación de alturas a partir de técnicas GNSS (*Global Navigation Satellite System*) con combinación de los datos generados a través de los MGGs (Modelos Globales del Geopotencial o *Global Geopotential Models* – GGMs), limitando así, la vinculación al SVRG. Otro problema de incompatibilidad se genera debido a la falta de organización y homogenización de los datos de las Redes Verticales de Referencia Nacionales (RVRNs), específicamente, la ausencia del almacenamiento de bases de datos estandarizadas.

Para poder desarrollar estrategias para la generación de posibles alternativas de conexión de las redes verticales pertenecientes a los países miembros de SIRGAS, es necesario estudiar cada una de las redes nacionales y recopilar toda la información existente de estas. La base de esta investigación es generar un inventario estandarizado basado en metadatos, que reúna tanto los estudios anteriormente realizados como los nuevos, con la visión de tener todas las características específicas de las Redes Verticales y de las Redes Gravimétricas para la generación de estrategias nacionales. La modernización e integración de los SVRNs junto con el empleo de las convenciones para el establecimiento del SVRG, darán la pauta para la definición de un único SVRS con su respectiva Red Vertical de Referencia SIRGAS (RVRS), basada en diferencias de números geopotenciales consistentes para el continente. Actualmente, este es el paso primordial para SIRGAS-GTIII, desde el punto de vista moderno de la Geodesia, para poder realizar la integración de cada una de las redes nacionales hacia una única Red Continental enlazada a un SVRG.

Con este trabajo se busca el establecimiento de estrategias, mediante la contribución y protagonismo de los países miembros de SIRGAS en el desarrollo, implementación y continuidad de este inventario. Esto trae consigo ventajas respecto a una visión futura del acceso y descentralización de la información, ya que provocará la necesidad de la creación de una única Infraestructura de Datos Espaciales (IDE)

para SIRGAS. Esta IDE atenderá los objetivos de UN-GGIM Américas (UN-GGIM AMÉRICAS, 2014), la cual permitirá la interoperabilidad e intercambio de geoinformación entre las posibles IDEs nacionales y globales, lo cual facilitará el uso de este tipo de información geodésica, atenderá los principios de uso de información abierta y el uso de software libre para beneficio del usuario y para el desarrollo de nuevas aplicaciones para bien de la sociedad.

Para cumplir con los objetivos planteados en esta disertación, primeramente se analizó el estado actual de los Sistemas Verticales existentes en la región SIRGAS, lo cual fue base para la recopilación de información técnica-científica que permita extraer características de los datos geodésicos nacionales y regionales. Como resultado, se generó Datos Geográficos clasificados según el análisis de las condiciones generales presentadas en los países pertenecientes a SIRGAS. Además se consideró las posibles combinaciones de estos datos en el terreno. Todos los detalles que se extrajeron sirvieron para la creación del inventario de las redes verticales sudamericanas basado en metadatos. Este inventario contiene la información producida por el análisis general de las RVRNs de SIRGAS, el análisis de la información del caso de estudio realizado y aspectos críticos respecto a la definición de redes nacionales, así como de las nuevas metodologías de establecimiento para ser discutidos. Con toda esta información recopilada en el inventario, se generó estrategias de solución para poder cumplir con el objetivo principal de esta investigación. Este estudio muestra algunas opciones de cómo se puede homogenizar los datos locales para una posible unificación, contribuyendo con estudios ya realizados. Además puede ser adaptado en cada país, dependiendo de sus características locales.

Se trabajó con Ecuador, el país que fue escogido como caso de estudio para probar la metodología desarrollada. El dato geodésico “Estación Mareográfica” y “Punto de Nivelación” ayudaron a entender como fue establecida la red vertical y su materialización en el tiempo, permitiendo generar estrategias de solución para la actualización de los Conjuntos de Datos Geográficos (CDG) *Datum* Vertical del Ecuador (DVE) y Red Vertical de Referencia del Ecuador (RVRE). Los datos geodésicos “Estación SIRGAS 1995”, “Estación SIRGAS 2000”, “Estación SIRGAS-CON” y “Punto GPS/GNSS” muestran el estado del Sistema Geométrico de Referencia SIRGAS-Ecuador (SGeRS-Ecuador), el cual sirve como componente

geométrica para el SVRS y representa un CDG. El dato geodésico “Estación Gravimétrica” permitió conocer cómo se podría establecer una Red Gravimétrica del Ecuador (RGE), generando estrategias para su creación y/o actualización para este CDG. El dato “Área sin Información” fue caracterizado con la finalidad de localizar las áreas con poca densificación de datos o áreas que no tengan datos terrestres, para generar estrategias basadas en el PVCG (Problema de Valor de Contorno de la Geodesia) para la obtención de datos a través de modernas herramientas como plataformas orbitales. Por último, el dato “Punto de Frontera” sirve en el análisis de conexión entre países, para esto es indispensable la homogenización de datos y el trabajo conjunto basado en la misma metodología para enlazar un país con otro, mediante un sistema basado en números geopotenciales.

Para llegar a un mayor entendimiento respecto a la estructura de esta investigación, considerada como un Sistema en el cual se trabajó con datos geodésicos, se generó paralelamente Diagramas de Caso de Uso y Diagrama de Clases. Estos dan a conocer cómo se está observando el Sistema, tanto dentro como fuera de este. Para el manejo de estos datos fue necesario el uso de la Norma ISO 19115 de la ISO/TC 211 Información Geográfica/Geomática (IPGH, 2010), permitiendo así, implantar el uso de metadatos organizados, estandarizados con una visión de creación de planillas de metadatos que contemplen las características importantes de las RVRNs. Fueron propuestos cuatro modelos de planillas de metadatos que corresponden al CDG levantados. Se creó una necesidad futura sobre el uso, manejo y distribución de datos geográficos dentro de SIRGAS, lo cual ayudará a incentivar aún más a los países miembros para que continúen con el trabajo que vienen desempeñando, buscando así, la integración de las RVRNs. También se impulsa a la homogenización de datos y metadatos que ayudarán en la creación de la IDE para las Américas, que es uno de los objetivos principales de UN-GGIM Américas.

1.1 PROBLEMA

¿Cómo integrar las Redes Verticales de América del Sur según los términos de referencia de SIRGAS/IAG/GGOS?

1.2 HIPÓTESIS

Si las redes verticales existentes en América del Sur, las cuales son basadas en preceptos convencionales o tradicionales de la Geodesia, pueden ser modernizadas o actualizadas en vista de los términos de referencia de SIRGAS/IAG/GGOS, entonces será posible realizar la integración de las redes nacionales en América del Sur en una única estructura para SIRGAS, a través de posibles estrategias de solución generadas mediante el análisis del inventario basado en metadatos, junto con la implementación de las convenciones del SVRG.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La superficie de la Tierra puede ser descrita por su geometría y por el geopotencial del campo de la gravedad. Existen sistemas de referencia locales y geocéntricos. El geocéntrico de tipo geométrico, permite la unificación de la geoinformación existente en el globo con una precisión relativa en la orden de 10^{-8} a 10^{-9} gracias al desarrollo de la era espacial. La densificación de los sistemas es realizada de forma global, teniendo así, un control de los marcos a través de redes. Por otro lado, los parámetros del campo de la gravedad, incluidas las componentes de alturas físicas, presentan una precisión menor que aquella de la parte geométrica, con errores relativos mayores a dos o tres órdenes de grandeza (IHDE, 2010). Esa deficiencia de precisión se puede justificar principalmente por la dinámica del campo de la gravedad terrestre que depende de la distribución de las masas en el Globo. También se considera parte influyente en esta deficiencia, la existencia de redes verticales establecidas con diferentes metodologías locales, la existencia de diferentes *data* verticales, diferencias en los criterios y estándares utilizados en los levantamientos, densificación de las redes gravimétricas, procesamiento de datos, entre otros.

Debido a lo citado anteriormente, se busca la unificación de las redes verticales sudamericanas, a través del estudio específico de las condiciones, construcción y mantenimiento de estas redes. Todos los detalles que se necesitan pueden ser encontrados en estudios técnicos-científicos que permiten obtener información de los

datos geodésicos existentes para desarrollar un inventario que destaque las condiciones específicas que tienen todos los países miembros de SIRGAS, y con esto, ayudar con la formulación de posibles estrategias de solución para la unificación de las redes verticales y para auxiliar la definición del SVRS. Para el establecimiento del SVRS, también es indispensable la consideración de las convenciones del SVRG.

Con el uso de información espacial, surge la necesidad de establecer estándares para su mejor manejo, lo cual justifica la utilización de Normas para la Información Geográfica, específicamente para metadatos. Esta opción enriquece a este proyecto, ya que permite la aplicación de estas normas en la organización, registro, intercambio y divulgación de los metadatos. Con este paso preliminar, se proyecta el inicio al desarrollo futuro de una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) que permitan el almacenamiento de toda la información referente a los SVRN y a las RVRN de todos los países miembros de SIRGAS.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Realizar una propuesta de Inventario en vista de los términos de referencia de SIRGAS/IAG/GGOS que contiene la nueva visión de la Geodesia, para proporcionar conocimientos para el establecimiento de estrategias de solución para la integración de las redes verticales sudamericanas en función de sus propios estudios y condiciones.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar un estudio general de las redes verticales de los países miembros de SIRGAS, basado en la información técnica-científica recopilada;
- Detectar aspectos críticos relativos a la definición de las redes nacionales;
- Proponer un enfoque metodológico para la inserción de las diversas redes locales en los términos de referencia actuales preconizados por IAG/GGOS, actualmente en fase de adaptación para SIRGAS conforme con sus hipótesis, para la definición

de un Sistema Vertical de Referencia SIRGAS (SVRS) a través de la unificación de los SVRNs vinculados al SVRG;

- Presentar un análisis de un país escogido como caso de estudio, el cual indique cómo se aplica la metodología desarrollada, la caracterización de las redes existentes mediante un inventario basado en datos y metadatos de la situación presente, evidenciando el potencial e importancia de la creación y/o actualización de Bases de Datos nacionales, regionales y globales estandarizadas. Además de implementación de futuras herramientas basadas en plataformas orbitales tanto para el establecimiento del SVRS como para el manejo de una IDE para SIRGAS.

1.5 CONTRIBUCIÓN DEL TRABAJO

Considerando los antecedentes presentados para esta disertación, se destaca la vinculación de dos temas relevantes en el ámbito de la Geodesia y de la Información Geoespacial, Por lo tanto, se puede decir que existen dos importantes contribuciones. La primera con ámbito en la Geodesia, es la propuesta de una metodología para la generación de estrategias de solución para la integración de las redes verticales de América del Sur. Esta metodología puede ser base para la búsqueda del análisis de los datos de cada país, y puede ser modificada dependiendo de sus propias condiciones. La segunda contribución se refiere al uso de datos geoespaciales estandarizados, lo cual desencadena una serie de necesidades futuras que atienden a la creación o actualización de Base de Datos y Metadatos, vinculados a una IDE que permita el intercambio y la interoperabilidad de datos con la finalidad de facilitar información al usuario, específicamente enfocado al almacenamiento de datos geodésicos de SIRGAS.

1.6 ESTRUCTURA DE LA DISERTACIÓN

Para facilitar el entendimiento de la presente disertación, esta fue organizada en los siguientes capítulos:

El **Capítulo 2**, presenta dos temáticas. Respecto a la Geodesia, muestra la estructura de las organizaciones o servicios científicos que generan datos geodésicos,

como IAG, GGOS, SIRGAS, que serán usados para el desarrollo de aplicaciones vinculadas a la Geodesia, específicamente, a la homogenización de datos para el actualizar e integrar los Sistemas Verticales de Referencia Nacionales para establecer el SVRS. Todos los objetivos de estas organizaciones se enlazan con la nueva visión de la Geodesia, la cual se basa en el establecimiento de un SVRG considerando fundamentos teóricos referentes a la evolución en el cálculo de números geopotenciales con la aplicación de nuevas teorías y herramientas para la generación de información espacial, como por ejemplo Modelos Globales del Geopotencial y Altimetría por Satélite. También se presenta información de los SVRN y SVRG con sus especificidades, así como también la gravimetría y las nuevas plataformas para la determinación de datos gravimétricos y sus funcionales.

Por otra parte, se presenta los aspectos referentes a los Datos Geográficos y estándares aplicados, con la finalidad de su homogenización y compatibilización. Se considera la importancia del análisis de los datos geodésicos extraídos de la información técnico-científica recolectada, para extraer sus características y generar los metadatos, los cuales sirven para la creación de un inventario que permita el análisis de posibles soluciones para la integración de las RVRNs. Para el uso de este tipo de metadatos, se aplicó la Norma ISO 19115: 2003 Información Geográfica–Metadatos creada por el ISO/TC 211 Información Geográfica/Geomática, y para comprender la visión desde el punto de vista del usuario y del generador del inventario, se usaron Diagramas de Caso de Uso y Diagramas de Clases en lenguaje UML (*Unified Modeling Language*). Por otra parte, se muestra la importancia de la estandarización de la información para resaltar la importancia de la compatibilidad de datos que son base para el desenvolvimiento de políticas y normas técnicas para la creación de una IDE regional, atendiendo a uno de los objetivos de UN-GGIM Américas.

El **Capítulo 3**, contiene la metodología desarrollada durante la disertación, la cual muestra la información utilizada y las estrategias que se implementaron para cumplir con los objetivos de este estudio. Se presenta las Normas del Inventario y los términos de Referencia SIRGAS/IAG/GGOS. Se discute el uso de Datos Geográficos y Combinación de Datos, los cuales son fundamentales para el desarrollo de este inventario.

En el **Capítulo 4**, se presenta los resultados de la metodología aplicada en Ecuador, el cual fue el caso de estudio de esta investigación. Contiene Diagramas de Caso de Uso, Diagramas de Clases, posibles estrategias de solución en el ámbito nacional y continental, ejemplos de investigaciones desarrolladas en el mundo referente a estrategias para la unificación de SVRNs y su vínculo a un SVRG, así como estrategias de solución para el caso de estudio de Ecuador.

Por último, en el **Capítulo 5**, son expuestas las conclusiones que atienden a los objetivos y resultados del trabajo. También se presentan recomendaciones que contienen importantes abordajes que pueden ser trabajados para complemento de esta disertación.

Se realizó un pedido formal al Colegiado del CPGCG para que el presente trabajo sea realizado en español, debido a la importancia de su contenido para los países que conforman SIRGAS, que en su mayoría hablan el idioma español. La petición fue aceptada por parte del Colegiado del CPGCG. El Apéndice 1 contiene un artículo en portugués que se encuentra aprobado para publicación en la *Revista Brasileira de Cartografia*, el cual se considera como el resumen extendido de la presente disertación, para atender a lo dispuesto en la *RESOLUÇÃO Nº 65/09-CEPE, Seção XI Do Projeto, Dissertação e Tese, Art. 62*.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ORGANIZACIONES CIENTÍFICAS BAJO LA VISIÓN DE LA GEODESIA

Para establecer el Sistema Vertical de Referencia Global (SVRG) es necesario tener redes con datos homogéneos, consistentes y compatibles en el globo. Para esto existen Organizaciones y Servicios Geodésicos que buscan la creación de estándares y convenciones para el levantamiento y procesamiento de los datos necesarios para el establecimiento de sistemas nacionales homogéneos con su materialización mediante redes verticales, que busquen la vinculación al SVRG. Cada red debe alcanzar niveles de precisión compatibles con las convenciones establecidas por las Asociaciones Científicas y otros organismos relacionados.

2.1.1 Asociación Internacional de Geodesia (IAG)

La IAG es una organización científica en el área de la Geodesia. Es un miembro activo de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (*International Union of Geodesy and Geophysics – IUGG*) que forma parte del ICSU (*International Council for Science*) y que coopera con la UNESCO (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*). La Asociación Internacional de Geodesia, también se encuentra vinculada a la Organización de las Naciones Unidas (ONU). La IAG promueve la cooperación científica, avance e investigación en Geodesia en escala global y genera contribución a través de varios organismos de investigación (IAG, 2014). Fue implementada para promover la teoría geodésica a través de la investigación y de la enseñanza. Con esto, se promueve la colecta, análisis, modelado e interpretación de datos de observación, estimulando el desarrollo tecnológico y proporcionando una representación consistente de la figura, rotación y del campo de la gravedad Terrestre y de los planetas, considerando sus variaciones temporales. Los objetivos se enfocan en el estudio de todos los problemas geodésicos relacionados con la observación de la Tierra asociados a los cambios globales. Su estructura general, como muestra la Figura 1, incluye algunos ejemplos de las Sub-Comisiones (*Sub-Commissions SC*), Inter-Comisión en Teoría (*Inter-Commission Committee on*

Theory ICCT), Grupos de Estudio Conjuntos (*Joint Study Groups JSG*) y Grupo de Trabajos Conjuntos (*Joint Working Groups JWG*) que están enlazados a la investigación respecto al SVRG y a los SVRNs (IAG, 2014):

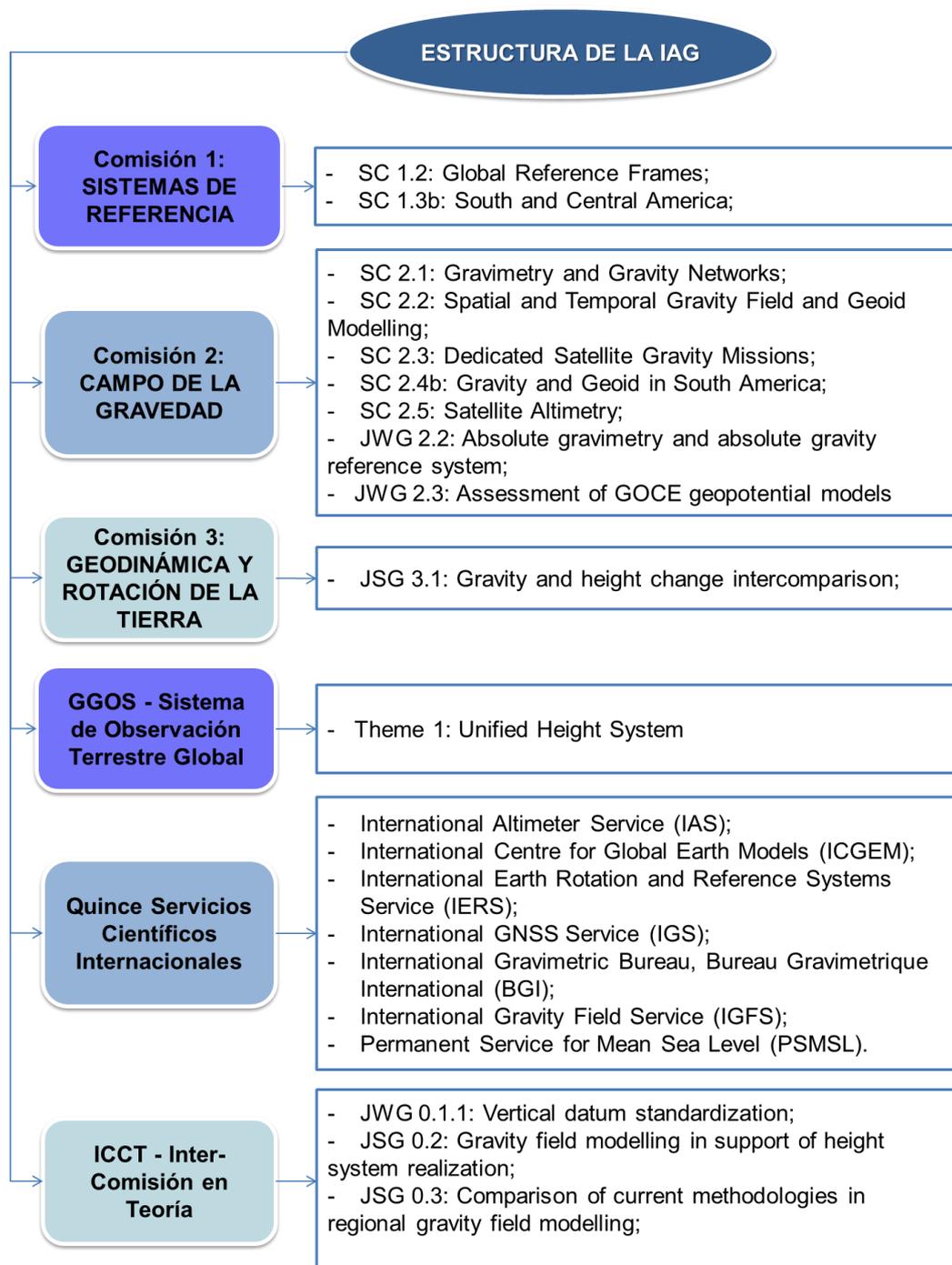


FIGURA 1 - ESTRUCTURA GENERAL DE LA IAG

FUENTE: Adaptado de IAG (2014)

Las Comisiones de la IAG atienden a la visión de la Geodesia en la actualidad, la cual se basa en la determinación y evolución de los tres pilares fundamentales de la Geodesia (Figura 2).

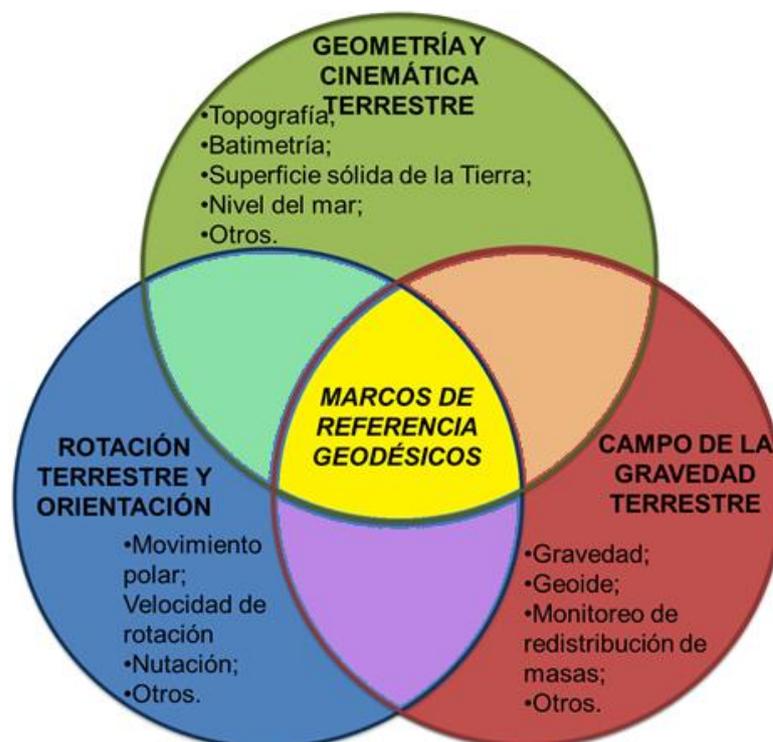


FIGURA 2 - PILARES FUNDAMENTALES DE LA GEODESIA

FUENTE: Adaptado de Plag y Pearlman (2009); Sideris (2009)

La Comisión 1 se enfoca en definir de la mejor manera los sistemas de referencia y en cómo se puede desarrollar aplicaciones científicas y prácticas. Algunos de sus objetivos incluyen: la definición, establecimiento, mantenimiento y mejora de las redes de referencia geodésicas; avances en las técnicas de observación terrestre y espacial; definición y establecimiento de sistemas de referencia verticales en el nivel global. También se considera los avances de las subcomisiones regionales, como la Sub-Comisión 1.3: *Regional Reference Frames* donde se encuentra SIRGAS, referida como SC 1.3b - *South and Central America* (IAG, 2014).

La Comisión 2 se estableció para promover, apoyar y estimular el avance del conocimiento, la tecnología y la cooperación internacional en el dominio geodésico asociado con el campo gravitatorio de la Tierra. Dentro de sus objetivos se destacan para la realización de la gravimetría terrestre, marítima y aérea, las observaciones

satelitales del campo de la gravedad y su modelado, considerando su variabilidad temporal, entre otras (IAG, 2014).

Específicamente, el aporte de la Comisión 1 y la Comisión 2 de la IAG es de fundamental importancia para el desarrollo del SVRG y para todos los sistemas de referencia nacionales/continentales, sin desconsiderar el aporte de la Comisión 3: Geodinámica y Rotación de la Tierra, que complementa esa contribución.

Actualmente, la observación de la superficie de la Tierra se basa en mediciones de la geometría global y del campo de gravedad Terrestre. Estas contienen la componente geométrica y la componente física, lo cual permitirá la realización de un SVRS a través de la integración de los sistemas nacionales con datos estandarizados y el uso de las convenciones para el establecimiento de un SVRG, enlazándose así, a uno de los temas de investigación de GGOS (IHDE y SIDERIS, 2011).

2.1.1.1 IAG Inter-Comisión 1.2: Marco de Referencia Vertical (ICP 1.2)

Para cumplir con la visión de definir un único Sistema de Alturas Físicas con precisión centimétrica, se busca estrategias para resolver los problemas existentes. Globalmente existen heterogeneidades en los sistemas de alturas físicas, falta de una realización de una superficie de referencia global unificada para sistemas de alturas físicas, falta de análisis y relación de los registros individuales de mareógrafos con respecto a esta superficie de referencia, ausencia de los cambios del nivel del mar y de los movimientos verticales de la corteza terrestre en mareógrafos y su conexión con los sistemas de referencia terrestres (SIDERIS, 2010).

Por lo tanto se debe buscar:

- Un Sistema Vertical de Referencia Global (SVRG) unificado;
- Parámetros consistentes, modelos y metodologías de procesamiento para el Marco de Referencia Terrestre (*Terrestrial Reference Frame* – TRF) y el campo de la gravedad;
- Una teoría fundamentada para la combinación de parámetros (técnicas espaciales, gravedad, otros);
- Consideración de la dependencia del tiempo;
- Un concepto riguroso de la realización.

El ICP 1.2 fue un proyecto común de las Comisiones 1 y 2 de la IAG, formado en la ciudad de Sapporo – Japón en la Asamblea General XXIII de la IUGG en Julio de 2003 y desde 2011 pasó a formar parte de GGOS. Inicialmente tuvo como objetivos (IHDE, 2007):

- Elaborar una propuesta para la definición de un SVRG;
- Obtener parámetros de transformación entre Sistemas Verticales de Referencia Nacionales (SVRNs);
- Establecer un sistema de información que describa los diversos sistemas verticales de referencia regionales, y su relación con el SVRG en relación con aplicaciones prácticas.

Existen antecedentes de las reuniones desarrolladas a partir de la creación del ICP 1.2 en 2003, continuando con el *Workshop* de ICP 1.2 realizado en 2006, en Praga – República Checa, en la Reunión de discusión final en Perugia – Italia en 2007 y en Buenos Aires – Argentina en 2009. En estas reuniones se programaron actividades dirigidas hacia la estandarización y homogenización del uso de alturas globales, para el estudio de procedimientos de combinación de datos de alturas obtenidos por diferentes técnicas a más de la integración de los sistemas verticales regionales.

Según Ihde (2007), las actividades del ICP 1.2 de la IAG fueron orientadas al desarrollo de las convenciones para el SVRG, al estudio de la información sobre los SVRNs y de los procedimientos de combinación de conjuntos de datos de alturas con diferentes técnicas empleadas, así para el desenvolvimiento de las relaciones básicas de las convenciones entre SVRG con el campo de la gravedad y el ITRS (*International Terrestrial Reference System*) relacionado con la geometría; como por ejemplo: parámetros; realizaciones; modelos; entre otros. Con esta visión, se buscó la elaboración de un proyecto para la realización del SVRG, el cual permitió que la Comisión 1 y la Comisión 2 de la IAG expandan la infraestructura existente que es de su responsabilidad, para así proveer condiciones de uso de las informaciones globales como base para el vínculo de los SVRNs al SVRG.

En el informe del ICP 1.2 para el periodo de 2003 a 2007 (IHDE, 2007) fueron establecidas las posibles formas de realizaciones del SVRG:

- Con estaciones de la red global con coordenadas en ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) y números geopotenciales referidos a un nivel de referencia

global. Esa red podría incluir estaciones GNSS permanentes, estaciones mareográficas permanentes y estaciones gravimétricas periódicas;

- Con un nivel de referencia global derivado de un MGG de una misión solamente con datos de satélite gravimétrico en combinación con un modelo del Nivel Medio del Mar (NMM) global proveniente de altimetría por satélite;
- Los sistemas de referencia de alturas nacionales y regionales pueden ser integrados dentro del SVRG con datos GNSS/nivelación en una misma realización ITRF, usando un MGG y estándares numéricos.

También durante el primer periodo se produjeron las convenciones alineadas a las del IERS 2003 (*International Earth Rotation and Reference Systems Service*) para la definición y realización de un Sistema de Referencia Vertical Convencional (*Conventional Vertical Reference System – CVRS*), (IHDE *et al.*, 2007), el cual describe los aspectos que deben ser considerados para la definición y realización de un SVRG. (McCARTHY y PETIT, 2004; IHDE, 2007).

En el segundo periodo 2007 – 2011 se inició el Proyecto Piloto WHS-PP “Realización de un Sistema Global de Altura” (*World Height System - Pilot Project* por sus siglas en Inglés) considerando en primera instancia los estándares numéricos de las convenciones del IERS 2003 o de sus actualizaciones. Con esto se denota la importancia de proporcionar a los usuarios toda la información acerca de las redes verticales de referencia a nivel global y otros puntos relevantes que se sintetizan en cuatro temas de trabajo para el WHS-PP detallados en la siguiente sección, (IHDE, 2010).

Se concluye que durante los dos periodos de trabajo del ICP 1.2, se realizó importantes avances, cuyos resultados principales se concentraron en las convenciones para la definición y realización del SVRG y el establecimiento del correspondiente RVRG, (JWG 0.1.1-VDS, 2014).

2.1.1.2 WHS-PP

El WHS-PP consideró cuatro aspectos importantes:

Primero: Centros de análisis para la determinación y monitoreo de la relación entre el potencial del campo de gravedad de la Tierra que coincide estrechamente con la superficie media del mar. Debido a la importancia que tiene con la determinación de alturas físicas o números geopotenciales referidos a un único *datum* vertical en todo el globo, se desarrollaría el requerimiento principal para el establecimiento de un SVRG. De acuerdo con las convenciones para la definición y realización de un CVRS (IHDE *et al.*, 2007), este *datum* deberá corresponder a una superficie de nivel del campo gravitatorio de la Tierra con un valor potencial $W_0 = \text{constante}$, esperando que este valor sea consistente con otros parámetros que son definidos de modelos geométricos y físicos de la Tierra. La estimación empírica de W_0 está asociada con el análisis del NMM y los datos globales de gravedad. Sin embargo, con las herramientas actuales basadas en técnicas geodésicas espaciales, el cálculo de W_0 es realizado con parámetros de la geometría y de la física de la Tierra. (SÁNCHEZ, 2010).

Segundo: Centros de procesamiento regionales y centros de combinación globales para estaciones GNSS/nivelación con coordenadas de series de tiempo en ITRF vinculados a las estaciones mareográficas del Proyecto IGS TIGA (*Tide Gauge Benchmark Monitoring Pilot Project*) y números geopotenciales referidos a Sistemas de Alturas Regionales (*Regional Height Systems - RHS*) en épocas definidas. Esto permitirá dar posibles soluciones a las discrepancias de alturas de los RHS en relación a la definición de un sistema global, debido a que estas heterogeneidades vienen de cada RHS, originadas de los registros mareográficos locales con diferentes épocas de referencia. Las soluciones se obtendrán de la conexión de los RHS al SVRG a través de puntos nivelados de control referenciados a un ITRF con números geopotenciales conocidos y con el establecimiento de una época de referencia común. El análisis de los datos de las estaciones GNSS/TIGA para identificar los movimientos verticales de los mareógrafos con respecto al ITRF es otro punto importante en estudio (SCHÖNE, 2010).

Tercero: Investigaciones sobre la exactitud del cálculo de los valores puntuales del geopotencial de la gravedad W_p por medio de modelos de alta resolución del campo de la gravedad como los MGGs y densificaciones regionales de datos gravimétricos. De estos cálculos se puede derivar los números geopotenciales (ver Sección 2.2.2.2). Todos los resultados que se puedan generar a partir de puntos

GPS/nivelación con gravimetría local/regional se compara con alturas físicas derivadas de los modelos locales/regionales del campo de la gravedad (MARTI, 2010).

Cuarto: Determinación de alturas físicas respecto al SVRG en regiones con una débil infraestructura geodésica y desarrollo de un sistema de información en forma de registro, para proporcionar datos relevantes. Este punto es importante ya que en la realidad existen muchos países que no cuentan con una base de datos geodésicos que posean el histórico de la información acerca de los sistemas de SVRN y sus materializaciones (RVRNs). Una de las bases fundamentales para la definición de un SVRG es el conocimiento científico de la condición de cada país respecto a su evolución y a su infraestructura geodésica desarrollada. Con la construcción de un sistema de información interoperable que contenga un inventario con los datos y sus respectivos metadatos que describan los sistemas de referencia verticales, permitirá analizar las posibles alternativas de conexión entre sistemas regionales vinculados a un SVRG. Para las áreas sin datos o sin bases de datos geodésicos, la solución se enfocaría en la combinación de un MGG con determinación de alturas GNSS sin mejoras regionales debido a falta de geoinformación. Para las áreas con una infraestructura débilmente desarrollada, se optaría por combinaciones de MGG junto con el uso de la información de la altura existente (GNSS/nivelación) para la validación o transformación en un SVRN, dependiendo de la densificación de las estaciones. La precisión de la determinación de las alturas depende de la precisión del modelo de campo de gravedad y las mediciones GNSS. Para que los MGGs tengan una precisión de algunos decímetros, dependen de las mediciones de la gravedad y la topografía (LIEBSCH E IHDE, 2010).

Actualmente, es necesario adjuntar un Quinto punto que reúne aspectos del tercero y del cuarto, considerando propuestas de soluciones más vigentes del Problema del Valor de Contorno de la Geodesia (PVCG) en un contexto fijo (Sección 2.2.2.1). De esta forma es posible también envolver soluciones fuera de las redes de nivelación así como también generar parámetros de transformación entre los sistemas nacionales y el SVRG. Estos aspectos serán discutidos con mayor detalle en la Sección 4.3.1, en la cual se muestra diferentes ejemplos desarrollados con base a la nueva visión de la Geodesia.

2.1.1.3 Sistema Global de Observación Geodésica (GGOS)

En 2001 se inició la nueva estructura de la IAG. Rummel *et al.* (2002) propusieron crear a IGGOS (*Integrated Global Geodetic Observing System*), el cual fue designado como el primer proyecto de la IAG (BEUTLER *et al.*, 2003). La visión, misión y objetivos de IGGOS se fueron implantando, hasta que en Sapporo-Japón en julio de 2003, se estableció el proyecto como GGOS (*Global Geodetic Observing System*) y en agosto de 2005 en Australia, se decidió continuar el proyecto, una vez definida su estructura organizacional. Finalmente en 2007, durante la reunión de la IUGG en Perugia-Italia, se considera a GGOS como un componente completo de la IAG y su sistema de observación permanente.

GGOS representa a la IAG en el GEO (*Group on Earth Observation*) y es la contribución de la IAG en el GEOSS (*Global Earth Observation System of Systems*). Tiene como visión el avance y la continuidad de los estudios referentes a la dinámica del sistema Tierra relacionando la cuantificación de los cambios globales en espacio y tiempo (GGOS, 2011). Por lo tanto, GGOS providencia una infraestructura geodésica precisa para el monitoreo del Sistema Tierra (PLAG Y PEARLMAN, 2009).

GGOS a través de su misión, busca proporcionar observaciones necesarias para la medición, interpretación, seguimiento y mapeo de los cambios en la forma, la rotación y la distribución de masas de la Tierra, con base en un marco global de referencia totalmente estable, generando así aplicaciones científicas a favor de la sociedad (GGOS, 2011).

Los objetivos que tiene GGOS son diversos, y se enfatizan en los siguientes puntos (GGOS, 2014):

- Primero: Ser la fuente primaria para toda la información geodésica global con experiencia en el servicio a las Ciencias Terrestres y a la Sociedad;
- Segundo: Promover activamente el mantenimiento, mejoría y desarrollo de la infraestructura geodésica mundial necesaria para cumplir con las necesidades de las Ciencias de la Tierra y de la Sociedad;
- Tercero: Coordinar los servicios geodésicos internacionales que son la principal fuente de los parámetros fundamentales necesarios para la realización de un marco

global estable de referencia, así como para la observación y estudio de los cambios en el sistema dinámico de la Tierra;

- Cuarto: Comunicar y defender los beneficios de GGOS a las comunidades de usuarios, responsables políticos y organizaciones de financiación que son partes decisorias de la Sociedad.

Cada objetivo tiene tareas específicas, las cuales se orientan a brindar los mecanismos necesarios para la implementación y realización de GGOS. Las tareas relacionadas con el objeto de estudio, el cual es la conexión de las redes verticales sudamericanas basada en términos de referencia de SIRGAS/IAG/GGOS, se encuentran inseridas dentro del segundo y tercer objetivo. Las tareas se definen con la finalidad de proporcionar las bases científicas necesarias para la infraestructura geodésica mundial, de promover componentes espaciales relevantes referentes a las misiones geodésicas como gravimetría, altimetría y otros. Estos deben brindar una cobertura espacial y temporal de los cambios continuos y episódicos en el Sistema dinámico de la Tierra. Otro punto importante es establecer y fomentar el uso de los sistemas de referencia, normas comunes y modelos, a más de dar acceso libre a datos y a la información geodésica y sus metodologías de levantamiento y procesamiento. Esto se desarrolla con el fin de asegurar que los datos y los productos para la comunidad geocientífica y para la sociedad, sean consistentes y de alta calidad.

Con un enfoque en la importancia para la ciencia y la sociedad del desarrollo de temas que integren grupos interdisciplinarios, GGOS dividió sus investigaciones en tres temas (GGOS, 2014):

- Tema 1: Estandarización de un Único Sistema Global de Alturas o SVRG, el cual se centra en la identificación de las necesidades para esta normalización;
- Tema 2: Riesgos geológicos como deformaciones de la superficie global de la Tierra y velocidades de deformación para la evaluación de estos riesgos geológicos y la prevención de desastres;
- Tema 3: Comprensión y predicción de la subida del Nivel del Mar y su variabilidad.

El Tema 1, se enfoca en su objetivo central, el cual es proporcionar un Sistema Vertical de Referencia Global relacionado al campo de la gravedad global, el cual:

- Sea compatible con el ITRS;
- Tenga una componente física con precisión de (1 ppb) ~ 1 cm en las coordenadas verticales (PLAG E PEARLMAN, 2009) ;
- Permita la unificación de todos los SVRNs existentes;
- Garantiza coordenadas verticales con una consistencia global y estabilidad a largo plazo (KUTTERER *et al.*, 2012).

Con esto, se enfatiza la implementación de los temas teóricos referentes al Sistema Vertical de Referencia Global (SVRG) en la práctica. El uso de las convenciones de IERS producidas en 2003 o su actualización con los estándares de IERS 2010, la consideración de las nuevas misiones de GOCE, bien como la comparación de estándares realizados por otros componentes de la IAG para homogenizar estándares numéricos, procedimientos y modelos, son la base para este objetivo (IHDE Y SIDERIS, 2011).

La combinación de parámetros físicos (establecidos por el *International Gravity Field Service* – IGFS) y geométricos (ofrecidos por el IERS) para el desarrollo de un SVRG demanda la creación de un Plan de Acción para el Tema 1, que se sintetiza en la Figura 3.

La definición y la realización de un SVRG es un requisito fundamental de GGOS, ya que proporcionará una alta precisión al sistema referencia físico para el estudio del sistema de la Tierra, así como el ITRS/ITRF providencia de alta precisión a las redes de referencia geométricas (SIDERIS, 2010).

Se creó el Grupo de Trabajo sobre Normalización del *Datum* Vertical (*Joint Working Group 0.1.1: Vertical Datum Standardisation* – JWG 0.1.1-VDS) para apoyar al Tema 1 de GGOS en la realización de un SVRG unificado. Según Sánchez (2013), el objetivo principal del JWG 0.1.1-VDS es la adopción y obtención de un valor del geopotencial W_0 oficial, con convenciones referidas a IAG/GGOS, el cual sea confiable y consistente para ser presentado (como teoría y en la práctica) como el nivel de referencia convencional para la realización de un único SVRG.

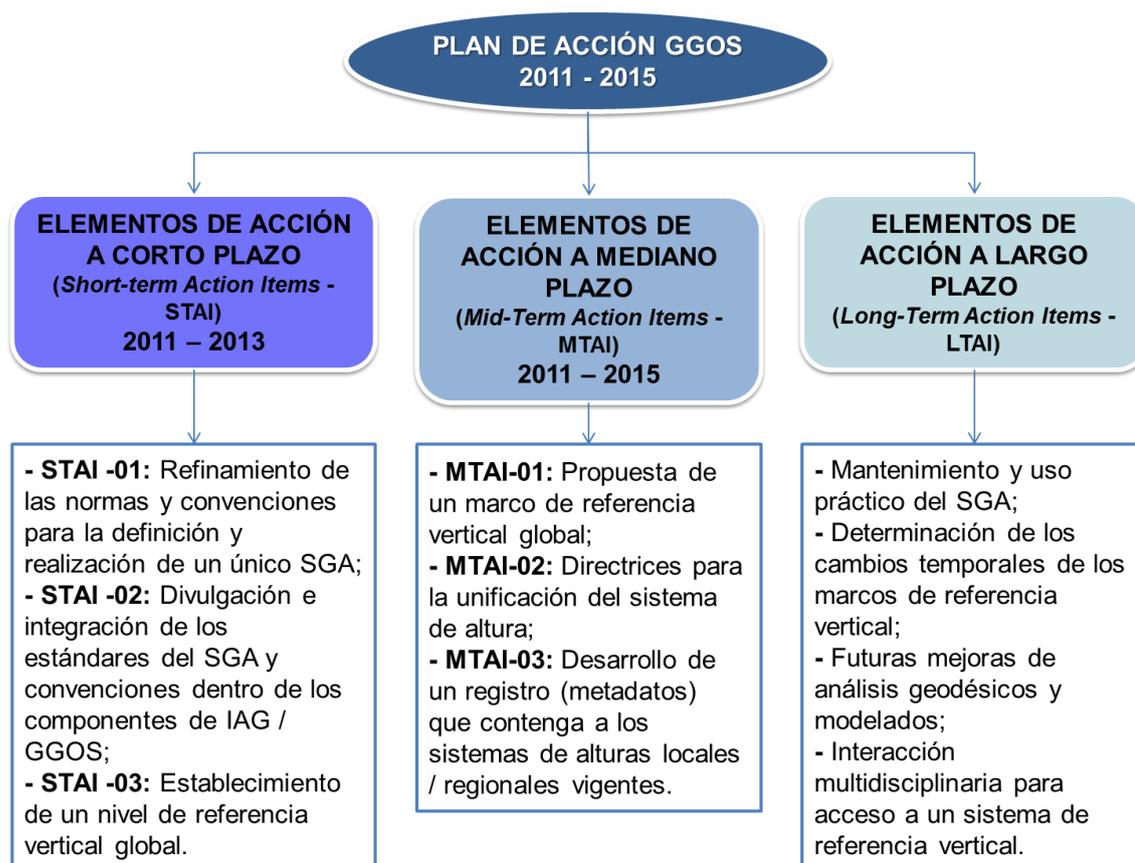


FIGURA 3 - PLAN DE ACCIÓN GGOS (2011 - 2015)

FUENTE: Adaptado de Ihde y Sideris (2011)

Está compuesto por la Comisión 1: Sistemas de Referencia de la IAG, con la ayuda del IERS como base de la geometría junto con el IAS (*International Altimetry Service*). Por parte la Comisión 2: Campo de la Gravedad, junto con el IGFS, como base con el ICGEM (*International Centre for Global Earth Models*) el cual provee los MGGs. La interacción de estas organizaciones y sus componentes es para tratar el problema de *datum* vertical y para evitar la duplicidad innecesaria de actividades y esfuerzos conjuntos que garantizan un avance homogéneo en los temas de marco de referencia no sólo en todo el mundo, sino también nacional y regionalmente (SÁNCHEZ, 2013).

En la Figura 4, se muestra un resumen de las componentes de la IAG y su transición, las cuales se establecieron para el estudio y desarrollo de un SVRG.

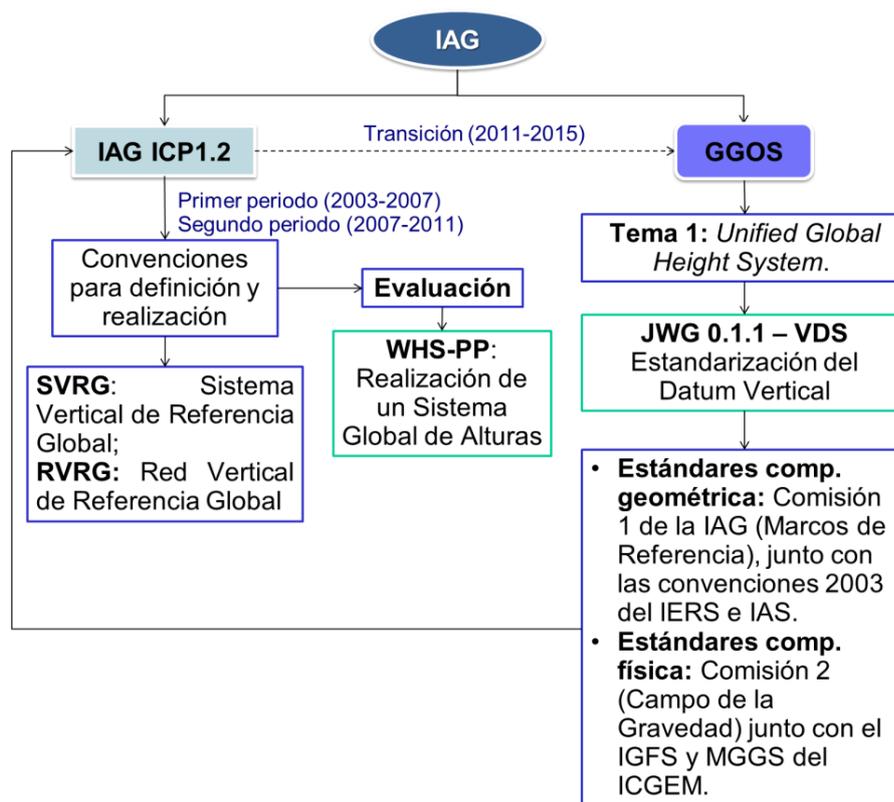


FIGURA 4 – EVOLUCIÓN DE LAS COMPONENTES DE LA IAG

FUENTE: La autora (2014)

2.1.2 Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS)

SIRGAS forma parte de la Comisión 1 de la IAG y pertenece al Grupo de Trabajo de la Comisión de Cartografía del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH), el cual corresponde a la Organización de los Estados Americanos (OEA). Tiene como objetivo la definición, materialización y mantenimiento del sistema geocéntrico tridimensional para las Américas. Esta organización es la base para el desenvolvimiento de proyectos que tienen como objetivo la generación y uso de información georeferenciada en América del Sur, América Central y El Caribe. SIRGAS realiza actividades visando la producción de información técnico-científica tales como: cálculo de coordenadas para proyectos de ingeniería; observaciones de deformación de la corteza terrestre; movimientos verticales; variación del NMM; estudios de la atmósfera; entre otros (SIRGAS, 2013).

Para un acorde direccionamiento de las actividades a realizarse, SIRGAS está actualmente dividido en tres Grupos de Trabajo:

- SIRGAS-GTI: Sistema de Referencia (SC1.3b-WG1, por sus siglas en inglés);
- SIRGAS-GTII: SIRGAS en Ámbitos Nacionales (SC1.3b-WG2 por sus siglas en inglés), anteriormente conocido como *Datum* Geocéntrico;
- SIRGAS-GTIII: *Datum* Vertical (SC1.3b-WG3 por sus siglas en inglés).

2.1.2.1 SIRGAS-GTIII.

Fue establecido durante la Asamblea General de la IAG llevada a cabo en Rio de Janeiro en 1997. Este Grupo de Trabajo tiene como objetivos la definición y realización de un sistema vertical de referencia unificado para los países miembros de SIRGAS, así como el establecimiento de un marco o red de referencia adecuado, además de la transformación de los sistemas clásicos de alturas existentes al sistema moderno (SIRGAS, 2013). Se quiere llegar a estos objetivos basándose en los términos de referencia de GGOS, que actualmente se encuentran en la vanguardia del conocimiento, los cuales permitirán tener la base para la e integración de los Sistemas Verticales de Referencia Nacionales (SVRNs) y con esto, el establecimiento de un Sistema Vertical de Referencia SIRGAS (SVRS), relacionado con el campo de la gravedad que sea completamente consistente, con estabilidad en el tiempo, homogeneidad y alta fiabilidad.

Otros objetivos actuales a destacar, es la importancia que toma la formación y capacitación de recursos humanos para el levantamiento, procesamiento e investigación de los Sistemas Verticales de Referencia. También se considera continuar con el almacenamiento de datos y/o metadatos generados por los países miembros de SIRGAS, considerando su estandarización mediante Normas ISO, con la visión de la creación de una IDE.

Por otra parte, siendo una de sus principales actividades el monitoreo y análisis de los *data* verticales existentes en los diferentes países miembros de SIRGAS, el Grupo de Trabajo III concluye que por las diversas discrepancias existentes entre *data* locales, es necesario la unificación de estos sistemas. Sobre esta base es atendida la visión central de SIRGAS-GTIII, que es la de promover el establecimiento de un SVRS

(o a una misma superficie equipotencial) con base en números geopotenciales o alturas físicas. Por lo tanto se busca una vinculación futura a un SVRG, restableciendo así las relaciones de los *data* verticales de cada país a un único sistema, siguiendo así la visión de GGOS y el objetivo de su establecimiento durante la Asamblea General de la IAG, en 1997.

Con las bases establecidas en el Tema 1 de GGOS, SIRGAS se enfocó en dos argumentos principales: la determinación de un valor del geopotencial W_0 confiable dentro de una definición global; y la evaluación de los datos de nivelación, combinados con mediciones gravimétricas, incluyendo las conexiones directas de las primeras redes de nivelación entre países vecinos a la realización SIRGAS2000. Estas actividades se complementan con la formulación de un sistema combinado de ecuaciones de observación basado en la nivelación, posicionamiento GNSS y la determinación del geoide. Incluye el análisis común de los registros de mareógrafos, observaciones de altimetría por satélite y posicionamiento GNSS asociado a los mareógrafos, que sirven como *datum* vertical en los sistemas convencionales de altura (BRUNINI *et al.*, 2010).

El nuevo Sistema Vertical de Referencia SIRGAS (SVRS) se basa de forma simplificada, en dos componentes: una geométrica y otra física. La componente geométrica corresponde a las alturas elipsoidales referidas a la red SIRGAS; y la componente física es dada en cantidades definidas en el espacio del geopotencial (W_0 – geopotencial del geoide como definidor del nivel de referencia y números o cotas geopotenciales como coordenadas verticales primarias). La realización de este sistema se debe referir a un W_0 global unificado, basarse en alturas físicas y estar asociado a una época específica de referencia, además que debe considerar el cambio de alturas y de su nivel de referencia respecto al tiempo (SIRGAS, 2014). Consecuentemente, la superficie de referencia correspondiente (geoide para las alturas ortométricas o cuasi-geoide para las alturas normales) deberán ser determinadas de manera unívoca en todos los países miembros y con una realización del SVRG para una dada época en contexto SIRGAS. Ver más específicamente en la Sección 2.2.2.

SIRGAS recopila en los Boletines Informativos los avances que cada país miembro realiza en pro de sus objetivos. Algunos Boletines a destacar son: Resumen del Reporte 2005, SIRGAS-GTIII presentado por Sánchez (2005) así como el

"SIRGAS Workshop on Vertical Networks Unification" realizado en el IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) en 2012 (BOLETÍN INFORMATIVO 18 SIRGAS, 2013). Un ejemplo de esto se muestra la Figura 14, la cual contiene parte del estado de las Redes de Nivelación y conexiones entre países. Cabe resaltar que existe más información distribuida en los otros boletines informativos, reportes, presentaciones, publicaciones y otras fuentes de información técnico-científica, los cuales rescatan más propiedades de los datos geodésicos conseguidos a lo largo del trabajo de SIRGAS y de los Organismos de apoyo. Dicha información es esencial para la construcción del inventario en vista de los términos de referencia de SIRGAS/IAG/GGOS.

2.2 SISTEMA VERTICAL DE REFERENCIA GLOBAL (SVRG)

Se puede definir un sistema de alturas o SVRG a través de una superficie de referencia, un *datum* vertical y con coordenadas de alturas como componente vertical, los cuales incluyan variación temporal (IHDE y SÁNCHEZ, 2005).

Un SVRG es un conjunto de convenciones que permite la conectividad de sistemas verticales de referencia y por tanto, su unificación mediante su realización.

Según Ihde y Sánchez (2005), la construcción de un SVRG se podría obtener por:

- Definiciones y convenciones similares a las del ITRS y del ITRF, de acuerdo a las convenciones del IERS, los cuales definen como un sistema de referencia tridimensional desarrollado con la combinación de diferentes técnicas espaciales, que permiten en su materialización, una precisión estable en sus coordenadas en la orden de 10^{-9} a lo largo del tiempo. Al contrario de las alturas físicas, que tienen una precisión limitada regionalmente, en la orden de 10^{-6} a 10^{-7} debido a que dependen de una hipótesis definida, y localmente por la nivelación, por los diferentes mareógrafos, diferentes niveles del mar y sus épocas arbitrarias del levantamiento (SIRGAS, 2013). Así se definiría un GVRS y un GVRF.
- La integración del SVRG a las convenciones del IERS mediante la definición de un conjunto de parámetros consistentes y por la materialización de estaciones

fundamentales que integren observaciones geométricas y técnicas gravimétricas. Estas vinculan estudios de fenómenos que tengan continuidad en el tiempo, como el campo de gravedad de la Tierra, los océanos, la atmósfera, entre otros.

Para Ihde *et al.* (2010), el Tema 1 de GGOS es una oportunidad para que las Comisiones 1 y 2 de la IAG amplíen y perfeccionen la infraestructura del marco de referencia existente, para proporcionar a los usuarios toda la información acerca de los marcos de referencia verticales en todo el mundo, y para relacionar los sistemas de alturas regionales a un *datum* global.

Se podría resumir que la unificación del nuevo Sistema Vertical de Referencia SIRGAS y la realización de un SVRG pueden lograrse principalmente a través de la combinación de diferentes productos de los servicios de IAG que son realizados bajo estándares numéricos consistentes. Mediante redes permanentes globales que contengan puntos de nivelación junto con GNSS y observaciones gravimétricas absolutas y con MGGs relacionados a la solución del PVCG con densificaciones regionales. Como resultado se obtendrían números geopotenciales y en consecuencia, diferentes tipos de alturas (IHDE, 2010). La explicación de cómo calcular números geopotenciales se presenta en las Sección 2.2.1 y Sección 2.2.2.2.

Sintetizando algunos aspectos relevantes en el SVRG, visto desde el punto de vista actual, deben ser considerados:

- Sistemas Verticales de Referencia Nacionales (SVRNs);
- Sistema Vertical de Referencia SIRGAS (SVRS): componente geométrica y componente física (referida a números geopotenciales);
- Nuevas Plataformas para la obtención de informaciones asociadas a los Sistemas y Redes Verticales de Referencia:
 - Modelos Globales del Geopotencial (MGGs), Valores de gravedad de los MGGs obtenidos con las nuevas misiones gravimétricas CHAMP, GRACE y GOCE mediante modelos obtenidos en el *International Centre for Global Earth Models* (ICGEM);
 - Modelos Digitales de Alturas (MDAs);
 - Modelos Oceánicos (*Mean Sea Surface – MSS*) con base en elipsoide de referencia o definiendo un geoide global, la Topografía del Nivel Medio del Mar –

TNMM (*Sea Surface Topography – SSTop* o *Mean Ocean Dynamic Topography – MDT*).

2.2.1 Sistemas Verticales de Referencia Nacionales (SVRNs)

Las Redes Verticales son un conjunto de puntos materializados en el terreno con referencias de nivel y son constituidas por circuitos de nivelación, construidas normalmente a lo largo de las vías de comunicación terrestres. Los puntos son identificados por la altura, que es determinada a partir de un punto de origen o *datum* vertical, el cual se encuentra usualmente localizado en los mareógrafos. Estos identifican el Nivel Medio del Mar (NMM) local asociado con una época específica en la cual fue determinado (periodo de observación ideal en lo mínimo de 18,6 años), bajo la concepción convencional de que dicho nivel coincidía con el geoide, con lo que eliminó las variaciones temporales periódicas de la superficie del mar como mareas, efectos meteorológicos y oceanográficos. Por lo contrario, el análisis de las variaciones no periódicas, las seculares (cambios del NMM en el tiempo o movimiento vertical de la corteza terrestre), y las omitidas generadas por la topografía local de la superficie del mar, lleva a generar errores sistemáticos de varios decímetros en las diferentes realizaciones del nivel de referencia, (GEMAEL, 1988; SÁNCHEZ, 2002).

Dado que anteriormente la nivelación se desarrollaba sin considerar reducciones por gravedad o las consideraba solamente del punto de vista teórico en las alturas niveladas, el efecto del campo total o anómalo de la gravedad terrestre fue considerado como un error más dentro de la medición. Por consiguiente, no envolvían procesos físicos dentro de las alturas determinadas, las cuales son íntimamente ligadas al campo de la gravedad terrestre (VANICEK y KRAKIWSKY, 1986; DE FREITAS y BLITZKOW, 1999; SÁNCHEZ, 2002; BRUNINI y SÁNCHEZ, 2008).

La mayoría de las alturas oficiales de los países miembros de SIRGAS tienen una definición netamente geométrica, lo cual desencadena inconsistencias generadas por la definición del *datum* vertical y la omisión del efecto de gravedad en la nivelación. Con estas limitaciones, no es posible la conexión de los datos nacionales con los datos modernos generados a partir de nuevas técnicas geodésicas de posicionamiento y de Modelos del Geopotencial, ya que estos tienen diferentes superficies de referencia.

Sobre esa base, se realiza la importancia de la realización de un sistema vertical de referencia moderno (SÁNCHEZ, 2002).

Con la información de los países miembros de SIRGAS, se puede concluir que (SIRGAS 2013):

- El nivel de referencia de las Redes Verticales Nacionales corresponden, predominantemente, con el NMM registrado con mareógrafos diferentes, en épocas y periodos de tiempo distintos, dependiendo de la ubicación del mareógrafo y su tiempo de lectura, así como la evolución del NMM en cada uno de ellos.
- La presencia de Topografía del Nivel Medio del Mar (TNMM) se genera debido a las discrepancias que existen en las diferentes redes nacionales. Esta es la diferencia de altura entre el NMM y el geoide en los mareógrafos de referencia, generando un efecto indirecto en toda red de nivelación; del impacto de la propagación de errores en nivelación geométrica; de las diferentes definiciones de los sistemas físicos de altura; del uso de diferentes reducciones de gravedad para el cálculo de alturas físicas y modelos de geoide; y de la omisión de los movimientos verticales del nivel del mar y la corteza terrestre (IHDE y SIDERIS, 2011; GATTI *et al.*, 2012).
- La extensión de las redes verticales de los países miembros de SIRGAS se realizó por nivelación geométrica con diferentes criterios de precisión sin que los efectos del campo de la gravedad, en casi todos los casos, sean corregidos.
- Dichos sistemas son estáticos, no toman en cuenta las variaciones de las alturas y del nivel de referencia con el tiempo.

Por lo tanto, las redes verticales de Sudamérica fueron establecidas según metodologías propias, las cuales se refieren a diferentes sistemas nacionales en cada país, en lo que se refiere a los errores padrones aceptables para el cierre de secciones y circuitos, épocas distintas de realización, así como los vínculos a varios *data* verticales realizadas en diferentes periodos y sin llevar en cuenta aspectos geodinámicos. También los sistemas de alturas adoptados son distintos, inclusive algunos de ellos no previenen efectos físicos sobre el cálculos de los desniveles a lo largo de las líneas de nivelación. Algunos consideran correcciones parciales solamente con base en el campo de la gravedad teórica. Ante lo expuesto, se puede recalcar que los sistemas de alturas existentes en América de Sur, Central y El Caribe,

presentan discrepancias considerables entre países vecinos. Estas no permiten el intercambio consistente de informaciones geográficas. Por lo tanto, no se encuentran aptos para ser referencias para la determinación de alturas a partir de técnicas GNSS e combinación con MGGs de alta resolución para vincularse a un SVRG (SÁNCHEZ, 2006; DE FREITAS, 2014).

2.2.2 Sistema Vertical de Referencia SIRGAS (SVRS)

Tradicionalmente los sistemas de alturas fueron realizados con base en nivelación sin combinación con observaciones gravimétricas locales. Las misiones espaciales gravimétricas globales CHAMP (*Challenging Minisatellite Payload*), GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*) y GOCE (*Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer*) han mejorado significativamente la precisión de los modelos del campo de la gravedad, conocidos como MGGs. En combinación con alturas elipsoidales observadas por técnicas GNSS, estos modelos permiten generar alternativas de realización de un sistema de alturas basado en el campo gravitacional. Pero la resolución espacial de los MGGs es limitada y necesita de refinamiento, el cual se logra con observaciones terrestres. Con las nuevas técnicas, se reducen significativamente la propagación de los errores producidos por nivelación (RULKE *et al.* 2014).

En mayo de 2000 se inició en el contexto SIRGAS la realización del nuevo sistema vertical por una campaña GPS incluyendo más de 184 estaciones de todo el continente (LUZ *et al.*, 2002). Esta campaña incluyó las estaciones del sistema de referencia SIRGAS 1995, los principales mareógrafos de cada país, incluidos los que sirven de referencia para los Sistemas Verticales de Referencia Nacionales, algunas estaciones en las fronteras para conectar las redes de nivelación de primer orden entre los países vecinos y puntos adicionales de control vertical primarios.

Para la definición de un Sistema Vertical de Referencia para SIRGAS es necesaria una componente geométrica y una física, las cuales deben considerar variaciones en el tiempo. La componente geométrica tiene como superficie de referencia el *datum* SIRGAS (elipsoide geocéntrico del *Geodetic Reference System 1980 - GRS80*), específicamente señalando al campaña SIRGAS2000, y alturas

elipsoidales como coordenadas. La componente física del nuevo sistema de referencia vertical incluye: nivelaciones de primer orden, valores de gravedad, números geopotenciales, registros mareográficos y datos de altimetría satelital. Además, se define por un nivel global unificado de referencia W_0 y números geopotenciales como coordenadas verticales fundamentales (SÁNCHEZ, 2009; SIRGAS, 2014).

Dentro de SIRGAS, la componente geométrica se encuentra casi desarrollada en su totalidad y los países miembros se encuentran trabajando oficialmente bajo este sistema, lo que no acontece aún con la componente física, la cual se encuentra en construcción, ya que se está trabajando en la determinación de alturas físicas y de la superficie física correspondiente. El desarrollo de esta componente va de la mano con las actividades que SIRGAS-GTIII especifica en sus objetivos.

Pensando en el desarrollo de alturas físicas, SIRGAS acordó el uso de cantidades de potencial, esto quiere decir, W_0 como nivel de referencia y números o cotas geopotenciales como coordenadas fundamentales. De esta manera, cada país puede adoptar las alturas que consideren necesarias en su territorio para el desarrollo de investigaciones y uso práctico en general (SIRGAS, 2014).

Para la unificación de los *data* verticales nacionales al nuevo Sistema Vertical de Referencia SIRGAS se debe estimar las diferencias de potencial, conocidas también discrepancias de los *Data* (pl. de *Datum* en Latín) verticales, entre los niveles locales de referencia y el valor global W_0 . Para estimar con precisión suficiente esta discrepancia, es necesario el uso de técnicas espaciales para el cálculo de alturas elipsoidales y de número geopotenciales provenientes de nivelación tomando en cuenta reducciones de la gravedad o mediante la solución del PVCG. Se debe determinar las diferencias de potencial en los mareógrafos, los cuales son los puntos de referencia de los *data* verticales nacionales, junto con las áreas marinas contiguas a estos; en las estaciones de referencia de SIRGAS y en los puntos de frontera que sirven de conexión entre las redes verticales de países vecinos (SIRGAS, 2014; DE FREITAS, 2014).

El nuevo Sistema Vertical de Referencia SIRGAS se establecerá sobre los términos de referencia de IAG/GGOS, los cuales darán al sistema homogeneidad, estabilidad a largo plazo y alta confiabilidad.

A través de la Figura 5, se observa en forma general los lineamientos para establecer el SVRS, el cual depende de las metodologías de integración de todos los SVRN y de las convenciones del SVRG.



FIGURA 5 - ESTABLECIMIENTO DEL SVRS

Fuente: La autora (2014)

2.2.2.1 Problema del Valor de Contorno de la Geodesia (PVCG)

La ecuación de Laplace $\Delta V_{ext} = 0$ considera la distribución de las masas en un punto exterior a las mismas, por lo tanto, no considera densidades (GEMAEL, 1999). El PVCG relaciona la condición de Laplace para la determinación del campo de la gravedad externo terrestre, a través del cálculo de una función armónica en el exterior de una superficie de contorno S desconocida (HOFMANN-WELLENHOF Y MORITZ, 2005).

Debido a las condiciones presentadas en el Potencial Gravitacional V , el PVCG puede ser (HECK, 2011):

- Primer PVCG de Dirichlet: Determinación de una función armónica sobre una superficie S arbitraria, siendo V conocido.

- Segundo PVCG de Neumann: Se conoce la derivada en la dirección normal $\partial V / \partial n$ del potencial gravitacional V sobre una superficie S . La derivada es dirigida para el exterior del espacio (V es armónico). Se determina la función potencial en cualquier región del espacio, donde puede ser armónico, inclusive en la superficie del geopotencial.
- Tercer PVCG de Hilbert: Se puede determinar una función armónica en el exterior de una superficie S arbitraria, cuando se conocen los valores que asume una combinación de la función de su derivada normal sobre dicha superficie.

Con la nueva visión de la Geodesia, el estudio del segundo PVCG es relevante en la determinación del Geopotencial W , considerando conocidos la geometría de la superficie de la Tierra y la gravedad sobre esta, variando la condición de contorno. En la solución de Brovar (1972), la superficie de contorno es esférica, siendo usada la generalizada del potencial perturbador T . Siendo T armónico fuera de S y regular en el infinito. Por lo tanto, de forma general, se observa en la ecuación 1, que T , W y el esferopotencial U están relacionados.

$$T = W - U \quad (1)$$

Heck (2011) refiere que la solución de primer orden del problema de contorno de Molodenskii para el potencial perturbador en la superficie de la Tierra se puede obtener mediante el uso de la solución de tipo Brovar para el PVCG (BROVAR, 1972).

La solución de primer orden está dada por:

$$T_P = \frac{R}{4\pi} \iint_S (\delta g + g_1 + \dots) \cdot H(\psi) ds \quad (2)$$

Donde R es el radio medio de la Tierra, $H(\psi)$ es la función de Hotine Koch, descrita para la distancia angular geocéntrica ψ y el disturbio de la gravedad δg (HOFMANN-WELLENHOF AND MORITZ, 2005), por tanto:

$$H(\psi) = \frac{1}{\text{sen} \left(\frac{\psi}{2} \right)} - \ln \left(1 + \frac{1}{\text{sen} \left(\frac{\psi}{2} \right)} \right) \quad (3)$$

La primera corrección g_1 para los efectos del terreno viene dada por:

$$g_1 = \frac{R^2}{4\pi} \iint_S \left(\frac{h - h_p}{l_0^3} \right) \cdot \delta g \cdot ds \quad (4)$$

Siendo l_0 la distancia Euclidiana entre el punto calculado y el elemento de integración propuesto por Hofmann-Wellenhof and Moritz (2005):

$$l_0 = 2 R \operatorname{sen} \left(\frac{\psi}{2} \right) \quad (5)$$

2.2.2.2 Números Geopotenciales

De la forma convencional, la determinación de los números geopotenciales dependía de las líneas de nivelación:

$$C_P = W_0 - W_P = \int_0^P g dn \cong \sum g_m \Delta H \quad (6)$$

Los cuales permiten definir las coordenadas verticales respecto al geoide. Para su cálculo es necesaria la posición exacta sobre un sistema de referencia global. En la ecuación 6 se presenta la determinación del número geopotencial de la forma teórica y práctica. En el caso de forma teórica, C_P de un punto en la superficie, se define como la diferencia entre el potencial en el geoide W_0 y el potencial W_P en ese punto considerado (en este caso llamado P).

Para determinar C_P con una visión nacional, por ejemplo en un determinado país, se considera los desniveles ΔH de secciones con nivelación geométrica, que se origina a partir de un punto posicionado sobre el geoide, junto con la gravedad g_m que asume el valor como el promedio de la gravedad medida sobre dicha sección (TORGE, 2001).

Respecto al cálculo de números geopotenciales, con un enfoque moderno, ya no se considera más la nivelación, (HECK, 2011). Esta se basa en la diferencia entre los valores del potencial gravitacional, considerando que el punto P y el punto fundamental fijo P_0 pertenecen a la superficie Terrestre S , por lo tanto W_0 se define como:

$$W_0 := W(P_0) \quad (7)$$

y los Números Geopotenciales:

$$C_p = W_0 - W_p \quad (8)$$

Por lo tanto, se considera un significado físico en la definición de la altura con relación a la superficie de referencia independiente del trayecto seguido para la diferencia entre dos superficies equipotenciales.

Para la determinación del Geopotencial en un punto P W_p , es necesario conocer el esferopotencial U_p y el potencial perturbador T_p en ese punto:

$$W_p = U_p + T_p \quad (9)$$

El esferopotencial en este caso de P , se deriva del elipsoide de referencia, en conexión con las observaciones geodésicas espaciales:

$$U_p = U_0 + \frac{\partial U_0}{\partial h} \cdot h_p \quad (10)$$

Donde U_p es obtenido del potencial normal en el elipsoide U_0 . Se considera $U_0 = W_0$ y h_p es la altura elipsoidal en el punto P .

Para la determinación del potencial perturbador T como solución del PVCG en su forma fija cuando es conocida la posición de P , se lo determina de la forma moderna en función del disturbio de la gravedad δg (HECK, 2011).

Considerando observaciones gravimétricas asociadas con observaciones GPS/GNSS, se puede determinar el disturbio de la gravedad, por ejemplo en un punto en P :

$$\delta_{g_p} = g_p - \gamma_p \quad (11)$$

Siendo γ_p la gravedad normal calculada en P . El δg permite el cálculo directo de los números geopotenciales en el Sistema Vertical de Referencia Global (SVRG), ya que determina el potencial perturbador en puntos de la superficie terrestre.

De la misma forma, se puede describir los desniveles geopotenciales o diferencias del geopotencial (en este caso del P_1 y P_2) ΔC que son esenciales para un ajuste continental. En este caso, $\Delta C_{1 \rightarrow 2}$ se basan en la integración de nivelación con gravimetría:

$$\Delta C_{1 \rightarrow 2} = \left(\frac{g_1 + g_2}{2} \right) \cdot \Delta H_{1 \rightarrow 2} \quad (12)$$

Los números geopotenciales o cotas geopotenciales son indispensables para el cálculo de las diferentes alturas físicas. Desde una visión nacional, la determinación de los números geopotenciales se da por las diferencias de nivel medidas junto con

los valores de gravedad (observados o interpolados) correspondientes a los puntos nivelados.

2.2.3 Gravimetría

El estudio del campo de la gravedad externo Terrestre es uno de los pilares fundamentales de la Geodesia (GEMAEL, 2002). La Gravimetría tiene como objetivos la determinación del campo de la gravedad de la Tierra, o de cualquier otro cuerpo celeste, como función de la posición y del tiempo a través de la medición del valor de la gravedad y de su gradiente en la superficie del cuerpo o en sus alrededores (TORGE, 1994).

Desde el punto de vista de la Geodesia, la gravimetría requiere técnicas y niveles de precisión que garantizan la calidad de las observaciones levantadas, así como de un control riguroso de estas informaciones después de su procesamiento. Las actuales técnicas de posicionamiento global preciso, junto a observaciones gravimétricas asociadas a las redes globales, son la base para el mejor conocimiento del geopotencial. Las estrategias de levantamiento gravimétrico y su cálculo afectan directamente los resultados y a la precisión obtenidas (SANTOS JUNIOR, 2005).

2.2.3.1 Redes Gravimétricas

Se desarrollaron Sistemas de Referencia mundiales, como el *Vienna Gravity System* (1900), *Potsdam* (1909) y la Red Mundial IGSN-71 (*International Gravity Standardization Net 1971*) para estandarizar las medidas gravimétricas. Actualmente, la red IGSN -71 es el *datum* mundial oficial de la gravedad (NOAA, 2014), la cual es recomendada por la IUGG y es conformada por observaciones gravimétricas distribuidas en diferentes países, 24000 mediciones gravimétricas relativas y 11 absolutas (ver Figura 6).

Por otra parte, estaba en desarrollo la creación de la Red Global de estaciones bases gravimétricas absolutas (*International Absolute Gravity Basestation Network - IAGBN*) para sustituir en el futuro a la red IGSN -71, además para que sirva como referencia para las redes subsecuentes y para el monitoreo de los cambios globales

de la gravedad, basado en estudios. Dicha red no llegó a substituir a la IGSN-71 (Ver Figura 7).

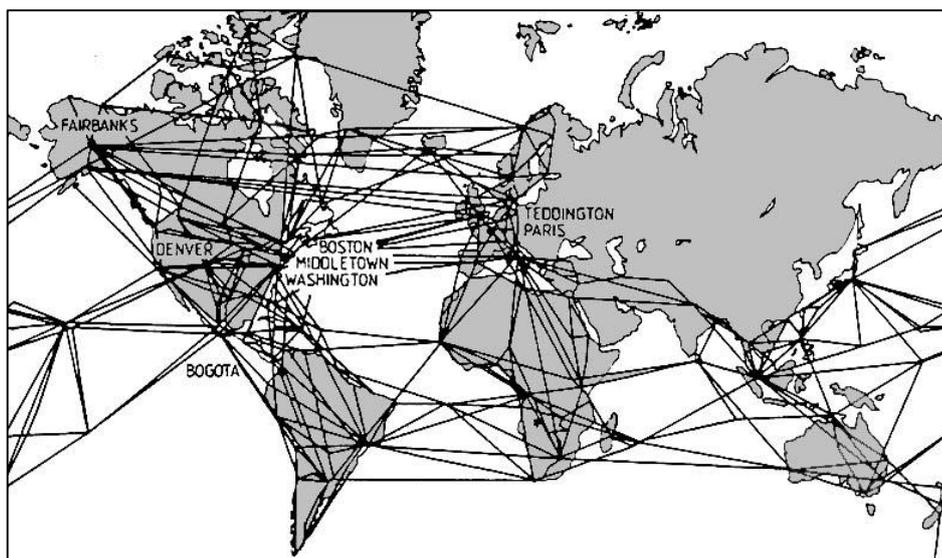


FIGURA 6 - RED MUNDIAL IGSN-71

FUENTE: Instituto de Geodesia y Cartografía de Polonia (IGIK), 2014



FIGURA 7 - RED MUNDIAL IAGBN

FUENTE: Wilmes *et al.* (2010)

En la actualidad se cuenta con el *Joint Working Group 2.2: Absolute Gravimetry and Absolute Gravity Reference System*, mediante la *Sub-Commission 2.1 "Gravimetry and Gravity Networks"* junto con el IGFS, con la finalidad de llegar finalmente a la substitución del IGSN-71 y además para aportar con una Base de Datos que contenga las mediciones de gravedad absoluta a nivel mundial. Otros de sus importantes objetivos es el de brindar datos y metadatos gravimétricos para las

investigaciones de GGOS (WILMES, 2013). En la Figura 8 se muestra la interface de la Base de Datos AGrav (*Absolute Gravity Data Base – Metadata*).

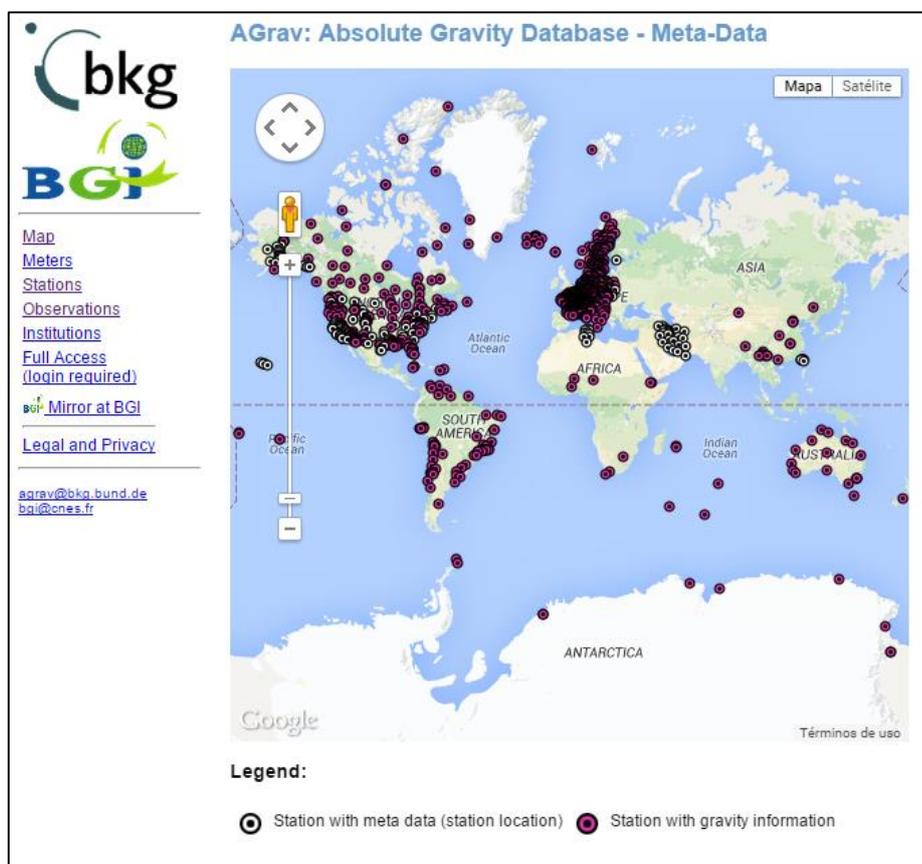


FIGURA 8 - INTERFACE DE AGRAV

FUENTE: BKG y BGI, (2015). <http://agrav.bkg.bund.de/agrav-meta/>

Se establecieron Redes Gravimétricas Nacionales en diversos países vinculadas a las redes gravimétricas mundiales. En el caso de América del Sur, los países miembros de SIRGAS, crearon las redes gravimétricas nacionales fundamentales y derivadas con base a la red IGSN-71.

Una de las campañas que se puede destacar, es la realizada por la Universidad de Hannover, Alemania, junto con instituciones representantes de los países inmersos. El objetivo del Programa de levantamiento de gravedad absoluta fue el establecimiento una red de 22 estaciones de control de gravedad absoluta que cubra grandes áreas de Sudamérica, específicamente en los países: Argentina; Brasil (puntos pertenecientes a la Red Nacional de Estaciones Gravimétricas Absolutas–RENEGA); Uruguay y Venezuela, tal como muestra Torge (1994).

Debido a la poca densificación de la red mundial IGSN-71 en la zona de estudio, se generan redes derivadas a esta, con precisión en el rango de 50 a 100 mGal. Obviamente, es importante enfatizar la importancia de los aspectos históricos ligados de las redes mundiales para las redes nacionales, ya que son el punto de partida para obtener datos gravimétricos. Con la nueva concepción de los levantamientos y la modernización de equipos gravimétricos (gravímetros absolutos portátiles con precisión de 10 mGal o mejor), se puede implantar nuevas redes con mayor calidad, cuyas observaciones pueden ser relacionadas y condicionadas con las redes existentes para control y re ajustamiento, la calibración de los gravímetros y para el control del factor de escala instrumental. Como por ejemplo, el establecimiento de la red gravimétrica científica de alta precisión en el Estado de Paraná – Brasil (DE FREITAS *et al.*, 2002; GEMAEL *et al.*, 2002; SANTOS JUNIOR *et al.*, 2005). Cabe resaltar que por otro lado, existe información complementaria de gravimetría existente en los países de América del Sur.

2.2.4 Nuevas plataformas para obtención de información gravimétrica

2.2.4.1 *Gravimetría por satélite*

Los problemas que se presentan en los datos gravimétricos terrestres es la heterogeneidad en su precisión y la confiabilidad (SANTOS JUNIOR *et al.*, 2005). Estos dependen de la metodología empleada en su levantamiento junto con el sistema de reducción adoptado, por eso la importancia de concepciones y estrategias para el desarrollo de nuevas metodologías de implementación de redes gravimétricas de alta precisión. Con las nuevas herramientas espaciales en los últimos años, existen evidencias de mejorías en la obtención de valores de la gravedad dadas por la altimetría por satélite, en levantamientos gravimétricos terrestres, aéreos y en los océanos. Mismo con estos avances, aún existen grandes vacíos de información gravimétrica en las áreas continentales cuyo acceso es casi imposible (ICGEM, 2014).

Desde el inicio de la era espacial, las investigaciones sobre el campo gravitacional de la Tierra usan información de las perturbaciones de las órbitas satelitales, inducidas por el efecto gravitacional de masas heterogéneas, generando

así, informaciones asociadas a las características de las largas longitudes de onda de ese campo. Dichas informaciones asociadas al campo centrífugo, posibilitan la determinación de los modelos del campo de la gravedad. Existen diversos MGGs, que son obtenidos a partir de las nuevas misiones gravimétricas CHAMP, GRACE y GOCE (JAMUR y DE FREITAS, 2009).

Respecto a las propuestas base para la consolidación del Sistema Vertical de Referencia Global (SVRG), se describe a GOCE. Este satélite mapea las variaciones de la gravedad terrestre con sumo detalle. Los datos de GOCE proporcionan modelos únicos de campo de gravedad de la Tierra y de su superficie de referencia de equipotencial, representado por el geoide (ESA, 2014).

Hasta el comienzo de la década de 2000, el conocimiento del geoide global a estas escalas era muy heterogéneo, debido al uso de: diferentes datos oriundos de la análisis de orbitas de satélites; datos en el espacio del geopotencial obtenidos de misiones de satélite disponibles desde la misión CHAMP, sucedido por GRACE y GOCE; observaciones terrestres, oceánicas y aéreas de gravedad, que a menudo no eran observaciones completas o no contaban con una muy buena calidad; entre otros.

GOCE proporciona una visión completamente nueva de la parte estática del campo gravitatorio global a medida que observa el geoide casi en todo el globo con una precisión de 1 - 2 cm a escalas espaciales de 100 kilómetros y mayores, generando así un geoide con una precisión razonable (GOCE en combinación con GRACE). Esta precisión se ha demostrado mediante la comparación del geoide GOCE con alturas del geoide observadas de forma independiente en los puntos de nivelación/GNSS (RUMMEL *et al.*, 2014).

2.2.4.2 Modelos Globales del Geopotencial – MGGs

El Centro Internacional de Modelos Globales de la Tierra (*International Centre for Global Earth Models – ICGEM*), forma parte de la IAG y del IGFS, encargado de la recopilación y archivo de todos los modelos globales existentes del campo de la gravedad, su divulgación en la web con visualización interactiva de los modelos, sus diferencias, su variación en el tiempo y sus evaluaciones. Dichos modelos que representan al potencial gravitacional, son generados con datos solo de satélite,

gravimétricos y altimétricos. Asimismo consideran grados máximos de desenvolvimiento, dependiendo de su resolución espacial.

Además ofrece a través de los MGGs, el servicio de cálculo de funcionales como: anomalía de altura, ondulación geoidal, anomalía de la gravedad, disturbio de la gravedad, gravedad, entre otras (BARTHELMES y KÖHLER, 2013).

2.3 ESTÁNDARES PARA LA INFORMACIÓN

En la generación de la información (ver Figura 9), el papel que desempeñan las Organizaciones y/o Servicios científicos es crítico. Considerando a los países miembros de SIRGAS es fundamental su total protagonismo, con la finalidad de obtener información confiable y para el establecimiento de normas que rijan el levantamiento y procesamiento de los datos para todos los países. Otra de las ventajas del protagonismo de los países, es el vasto conocimiento de su información, lo cual ayudará a un mejor registro de metadatos además de un análisis más extenso de posibles estrategias de solución que atiendan a los problemas nacionales. De esta forma se podrá aprovechar aún más la información que se tiene, para brindar muchas más posibilidades de aplicación al usuario.

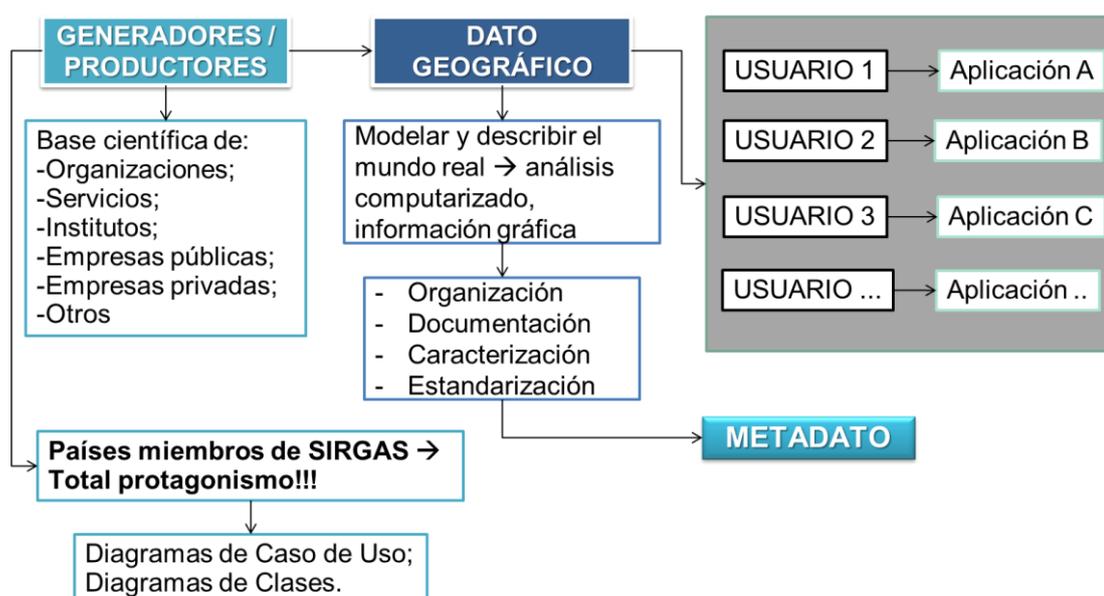


FIGURA 9 - GENERADORES DE INFORMACIÓN

FUENTE: Adaptado de ISO/TC 211 (2014); IGAC (2011)

Los **Metadatos**, por definición según UN-GGIM: Américas (2013), son el conjunto de información descriptiva sobre los datos, incluyendo las características de su levantamiento, producción, calidad y estructura de almacenamiento, y que es esencial para promover su documentación, la integración y despliegue, así como permitir su búsqueda y exploración. En otra definición de Bernabé y López (2012), los metadatos tienen la finalidad de lograr la organización, búsqueda y localización de la información de manera más precisa, su importancia radica en que los metadatos son fichas técnicas que proporcionan mecanismos de descripción, selección y análisis del uso de la información, a partir de diversos criterios. Todas las características obtenidas de los datos son base tanto para la identificación de posibles estrategias de solución, así como para un futuro establecimiento de una IDE. Basados en las descripciones anteriores, tenemos como resultado los metadatos recopilados en esta investigación que describen la parte de la Geodesia, así como la parte de Información Geoespacial, tal como se muestra en la Figura 10.

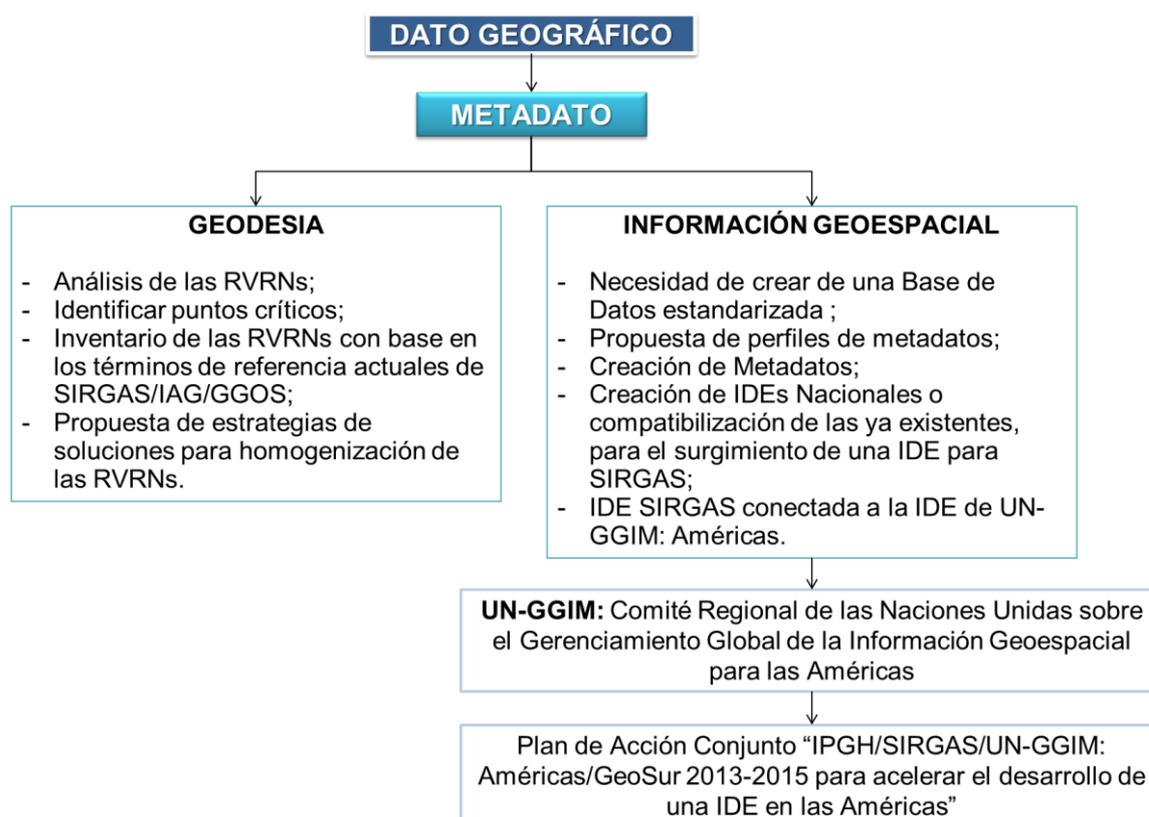


FIGURA 10 - USO DE LOS METADATOS

FUENTE: La autora (2014)

Por otro lado, realizando un análisis de los alcances del presente proyecto, se detectó la necesidad de determinar la posible influencia del inventario en los diferentes usuarios, los cuales son los mismos países que lo desarrollan. Se considera a este inventario como un sistema, por consiguiente, se realizó Diagramas de Caso de Uso y Diagramas de Clases en lenguaje UML. Dicho lenguaje pertenece a OMG (Object Management Group) y ayuda a especificar, visualizar, y documentar los modelos de sistemas de software, incluyendo su estructura y diseño, de manera que cumple con todos estos requisitos (UML, 2015). Como una norma internacional (ISO/IEC 19505-1:2012), permite la representación del sistema a través de su diseño, el cual permitirá un mejor entendimiento de este, proporciona una base común para el intercambio de modelos y metadatos. Por lo tanto, sirve para el modelado de sistemas con una notación gráfica y un formato de intercambio (ISO/IEC, 2012).

Los Diagramas servirán como base para entender la visión del usuario y las relaciones entre las clases que involucran el sistema.

- Diagrama de Caso de Uso: Describe la comunicación entre los actores. Este diagrama representa con simplicidad el funcionamiento del sistema desde el punto de vista del usuario. Sus elementos son: el Escenario; el Actor que representa a un usuario del sistema; el Caso de Uso que el sistema ejecutará; y las Relaciones que existen entre los actores y los casos de uso.
- Diagrama de Clases: Describe a detalle las relaciones que tienen las clases dentro del sistema. Se compone de: Clases que contiene toda la descripción de del objeto en estudio; Atributos; Métodos y Asociación o Relación entre clases._Para la disertación, se realizó estos diagramas, los cuales se encuentran en el Capítulo 4 de Resultados.

Por otra parte, se estudió la propuesta de la construcción de una DB de la información vertical de América del Sur (Sánchez, 1998), presentado en el Boletín N°6 de SIRGAS (SIRGAS, 2002), así como la presentación de Luz y Pereira (2012) y además el análisis de los padrones establecidos desde la creación del SIRGAS-GTIII, ya utilizados en el Informe referente a la organización y procesamiento de los datos de la red altimétrica y la red gravimétrica de Brasil (IBGE, 2006).

Específicamente, en el Boletín N° 6 de SIRGAS, se considera dos estructuras para la instrumentación y mantenimiento de una DB:

- Base de datos de información vertical de América del Sur (BIVAS): se establece de las características generales de las redes de nivelación, utilizando como llave principal cada uno de los países del continente (ver Tabla 1).

TABLA 1 – BIVAS

CAMPO	DESCRIPCIÓN	ATRIBUTOS
PAIS	Nombre del país en referencia	Argentina Bolivia Brasil Etc.
ESTT	Cantidad total de estaciones con valor de altura conocido	
EST1	Cantidad de estaciones altimétricas de primer orden	
EST2	Cantidad de estaciones altimétricas de segundo orden	
EST3	Cantidad de estaciones altimétricas de tercer orden	
ESTO	Cantidad de estaciones altimétricas de precisiones inferiores	
TDAV	<i>Datum</i> vertical clásico	Mareógrafo correspondiente
TALT	Tipos de alturas utilizados	Niveladas Ortométricas Normales Dinámicas Otro
TGRA	Cantidad de estaciones altimétricas con valor de gravedad conocido	
TDAG	<i>Datum</i> gravimétrico	Postdam IGSN71 IAGBN
GEOP	Cantidad de estaciones altimétricas con número geopotencial determinado	
TCOO	Cantidad de estaciones altimétricas con coordenadas geodésicas conocidas	
TDAH	<i>Datum</i> geodésico horizontal	Nacional SIRGAS Otro
TELI	Cantidad de estaciones altimétricas con valor de altura elipsoidal conocido	

Continúa

TABLA 1 – BIVAS

Conclusión

CAMPO	DESCRIPCIÓN	ATRIBUTOS
GEOD	Modelo geoidal vigente	Nacional Regional Global
CONS	Porcentaje de estaciones altimétricas que no han sido destruida	
REOC	Porcentaje de estaciones altimétricas que han sido niveladas más de una vez	
ACTL	Fecha de actualización	
OBSV	Comentarios	

FUENTE: Sánchez (1998)

- Base de datos de información vertical detallada de América del Sur (BIDAS): el cual contiene características más particulares de cada una de las estaciones de nivelación y su estructura, demanda de un registro por cada valor de altura utilizado (ver Tabla 2).

TABLA 2 – BIDAS

CAMPO	DESCRIPCIÓN	ATRIBUTOS
CodEst	Código de la estación altimétrica	
NMP	Nombre de la estación altimétrica	
CodPas	Código del país al que pertenece la estación altimétrica	
FECHA	Fecha de nivelación de la estación	
TLAT	Latitud de la estación altimétrica	
TLON	Longitud de la estación altimétrica	
TPRH	Precisión de las coordenadas horizontales	
TDAH	<i>Datum</i> geodésico	Nacional SIRGAS Otros
ORDEN	Clasificación del punto de acuerdo con su precisión	2001 Primero 2002 Segundo 2003 Tercero

Continúa

TABLA 2 – BIDAS

Continuación

CAMPO	DESCRIPCIÓN	ATRIBUTOS
TMETH	Método de determinación de las coordenadas horizontales	1001 Punto Doppler 1002 GPS 1003 Astronómico 1004 Triangulación 1005 Trilateración 1006 Poligonación 1007 Bisección 1008 Interpolación cartográfica 1009 Otros
ALTT	Valor de altura	
TALT	Tipo el altura	3001 Nivelada 3002 Ortométrica 3003 Normal 3004 Dinámica 3005 Elipsoidal 3005 Geoidal
TMEDV	Método de determinación de la altura	Nivelación Geométrica Nivelación trigonométrica Nivelación GPS Hipótesis geofísicas involucradas Etc.
TPRV	Precisión de la altitud	
TDAV	Tipo de datum vertical	Mareógrafos nacionales Geoides locales Geoides regionales Geoides globales Otros
TGRAV	Gravedad observada	
TPGR	Precisión de la gravedad observada	
TDAG	<i>Datum</i> gravimétrico	Postdam IGSN71 IAGBN Otros

Continúa

TABLA 2 – BIDAS

		<i>Conclusión</i>
CAMPO	DESCRIPCIÓN	ATRIBUTOS
TEST	Estado actual de la estación	4001 Activa 4002 Obsoleta 4003 Destruida
TLOP	Localización de la estación altimétrica	
TDES	Descripción de la estación altimétrica	
TCRO	Croquis del punto	
ACTL	Fecha de actualización	
OBSV	Comentarios	

FUENTE: Sánchez (1998)

Estas estructuras sirvieron para demarcar el inventario generado. Como se comentó en la sección 2.3, debido a la heterogeneidad de la geoinformación generada por los países que forman parte de SIRGAS, es indispensable el uso de estándares o normas para la realización del presente inventario de metadatos. Se pretende alinear el desarrollo de este inventario con los objetivos de UN-GGIM: Américas, tal como se especifica en la sección 2.3.3.

2.3.1 Consorcio de SIG Abiertos (OGC)

El OGC, conocido por sus siglas en inglés (*Open Geospatial Consortium*), busca servir de foro mundial para la colaboración de los desarrolladores y usuarios de productos y servicios de datos espaciales con el fin de avanzar en el desarrollo de normas internacionales para la interoperabilidad geoespacial. Se encuentra constituido por de 478 empresas, agencias gubernamentales y universidades que participan en un proceso de consenso para desarrollar estándares de interfaz de acceso público (OGC, 2014).

2.3.2 Organización Internacional para la Normalización (ISO)

Una Norma Internacional expresa los principios esenciales de apertura y transparencia, consenso y coherencia técnica en el globo. La Organización

Internacional para la Normalización (*International Organization for Standardization – ISO*) es responsable de planear, formular y adoptar Normas Internacionales (ISO/TC 211, 2014).

2.3.2.1 *El ISO/TC 211 Información Geográfica / Geomática*

Tiene como alcance la normalización en el campo de la información geográfica digital. Pretende establecer un conjunto estructurado de normas de información relativa a los objetos o fenómenos directa o indirectamente relacionados con una localización en relación con la Tierra. El ISO/TC 211 cuenta con una comunidad de usuarios, entre ellos se encuentra la IAG y el IPGH, lo cual denota la importancia que tiene la normalización de datos espaciales (ISO, 2003. Traducción: IPGH, 2010; ISO/TC 211, 2014).

Se define el formato de esta investigación con base en las Normas para el manejo de la información geográfica, NORMA ISO/TC 211, dentro de las categorías de Normas que especifican la Infraestructura para la Estandarización Geoespacial y Normas para el manejo de la Información Geográfica (ISO, 2003. Traducción: IPGH, 2010).

Para desarrollar la investigación propuesta, se considera la siguiente Norma ISO:

- Norma ISO 19115: 2003 Información Geográfica – Metadatos: El objetivo de esta Norma Internacional es proporcionar una estructura para describir los datos geográficos digitales. Esta especifica los elementos de metadatos, proporciona un esquema y establece un conjunto común de terminología, definiciones y procedimientos de extensión de los metadatos. Proporciona información sobre la identificación, grado, calidad, esquema espacial y temporal, referencia espacial y distribución de datos geográficos digitales. Para aplicar esta norma es necesario determinar el conjunto mínimo de metadatos requeridos para soportar todo el rango de aplicaciones y definir sus condiciones, las cuales son: obligatorias, condicionales y opcionales (para permitir una descripción normalizada más amplia de los datos geográficos, si así se requiere).

Para la implementación de la Norma 19115, es necesario la especificación de algunos conceptos, tales como:

- Conjunto de Datos Geográficos (CDG): Es una compilación de datos geográficos relacionados entre sí, que describen cierto aspecto de una porción del espacio geográfico y comparten el mismo sistema de coordenadas (Ver Sección 4.3.2).
- Perfil de metadatos: Es un documento que representa la aplicación específica de la norma de metadatos, adaptado a las necesidades tanto de los productores de datos como de los usuarios. El Perfil Latinoamericano de Metadatos Geográficos – LAMP (*Latin American Metadata Profile*) fue desarrollado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) junto con el IPGH, con el objetivo fundamental de establecer un perfil de metadatos geográficos e implementar un servicio de registro multilingüe, que cumpla con los requisitos del estándar internacional ISO 19115, teniendo en cuenta los avances y necesidades de los países de Latinoamérica y El Caribe (IGAC, IPGH, 2011). Dicho perfil es uno de los primeros generados considerando las características específicas de Latinoamérica y bajo este, fueron desarrollados la mayoría de perfiles en América del Sur. Por ejemplo: Perfil Ecuatoriano de Metadatos – PEM (IGM, 2010); Perfil de Metadatos Geoespaciales de Brasil - Perfil MGB (CEMG-CONCAR, 2009), entre otros. Los perfiles de Ecuador y de Brasil fueron considerados en la presente investigación para la generación de las propuestas de planillas de metadatos debido a su vasto conocimiento y evolución respecto a los perfiles de metadatos.

Es necesaria la adaptación de la Norma ISO 19115 e ISO 19139 en un Perfil de Metadatos que contenga las principales características de la información referente a las convenciones del Sistema Vertical de Referencia Nacional y su materialización a través de las Redes Nacionales.

- Plantilla de metadatos: Es una estructura representada en forma de documento, que se basa en el lenguaje XML (*eXtensible Markup Language*), la cual contiene las clases, subclases y sus relaciones.

Se puede considerar que gracias al Perfil de Metadatos representado a través de la Plantilla de Metadatos (ver Tabla 3), se puede intercambiar información y conseguir interoperabilidad entre organizaciones que desarrollen el mismo tipo de

dato, mediante la definición de metadatos obligatorios (M), condicionales (C) y opcionales (O). Esta planilla contiene a los metadatos que pueden ser registrados de los Conjuntos de Datos Geográficos levantados. Las propuestas de plantillas de metadatos, se muestran en la Sección 4.4.

TABLA 3 - PLANTILLA DE METADATOS

PLANTILLA PADRÓN DE METADATOS PARA CONJUNTOS DE DATOS GEOGRÁFICOS	
Título de conjunto de datos (M)	Tipo de representación espacial (O))
Fecha de referencia del conjunto de datos (M)	Sistema de referencia (O)
Responsable del conjunto de datos (O)	Linaje (O)
Localización geográfica del conjunto de datos (por cuatro coordenadas o por identificador geográfico) (C)	Recurso en línea (O)
Lenguaje del conjunto de datos (M)	Identificador del archivo de metadato (O)
Conjunto de caracteres del conjunto de datos (C)	Nombre general del metadato (O)
Categoría del tema del conjunto de datos (M)	Versión estándar de metadato (O))
Resolución espacial del conjunto de datos (O)	Lenguaje del metadato (C)
Descripción abstracta del conjunto de datos (M)	Conjunto de caracteres del metadato (C)
Formato de distribución (O)	Punto de contacto del metadato (M)
Información ampliada adicional para el conjunto de datos (vertical y temporal) (O)	Fecha del metadato (M)

FUENTE: Editada de IPGH. NORMA ISO/TC 211 (2010)

2.3.3 UN-GGIM Américas

En 1997, la *Global Spatial Data Infrastructure Association* – GSDI definió que el objetivo de una Infraestructura de Datos (IDE) es facilitar y coordinar el intercambio de datos espaciales entre las partes interesadas, sobre la base de un concepto dinámico y multidisciplinar que abarca políticas y mandatos de las organizaciones, datos, tecnologías, estándares, mecanismos de ejecución y los recursos financieros y humanos necesarios para garantizar el trabajo de las personas.

Según la Infraestructura de Datos de España (IDEE, 2005) es un sistema informático integrado por un conjunto de recursos (catálogos, servidores, programas,

aplicaciones, páginas web,...) que permite el acceso y la gestión de conjuntos de datos y servicios geográficos (descritos a través de sus metadatos), disponibles en Internet, que cumple una serie normas, estándares y especificaciones que regulan y garantizan la interoperabilidad de la información geográfica.

Estos conceptos de IDE fueron difundidos en todo el mundo y cada país u organización lo tomaron para ser aplicado, considerando la gran importancia de desarrollar esta infraestructura para la interoperabilidad de la información geoespacial.

Durante la Sexta Conferencia Cartográfica Regional de las Naciones Unidas para las Américas (UNRCC-Américas) en 1997, fue creado el CP-IDEA (Comité Permanente para la Infraestructura de Datos Geoespaciales de las Américas) con el fin de maximizar los beneficios económicos, sociales y ambientales derivados del uso de la información geoespacial, a partir del conocimiento e intercambio de las experiencias y tecnologías de diferentes países, basados en un modelo común de desarrollo, que permita el establecimiento de una Infraestructura de Datos Geoespaciales en la región de las Américas. (CP-IDEA, 2014).

En agosto de 2013, fue creada UN-GGIM Américas (Comité Regional de las Naciones Unidas sobre la Gestión Global de Información Geoespacial para las Américas), reemplazado así a CP-IDEA. Sus objetivos son:

- Establecer y coordinar las políticas y normas técnicas para el desarrollo de infraestructura regional de datos geoespaciales de las Américas-,
- Promover con carácter prioritario el establecimiento y desarrollo de las Infraestructuras de datos geoespaciales nacionales de cada uno de los miembros de UN-GGIM Américas;
- Fomentar el intercambio de información geoespacial entre todos los miembros de la comunidad de las Américas, respetando su autonomía, conforme a sus leyes y políticas nacionales;
- Estimular la cooperación, investigación, complementación y el intercambio de experiencias en áreas de conocimiento relacionadas con la materia geoespacial;
- Definir lineamientos y estrategias para apoyar a las naciones miembros en el desarrollo de la información catastral teniendo en cuenta las necesidades individuales de cada país.

La Resolución N°4 de la 19 Asamblea General del IPGH realizada en Ecuador en 2009, informa la implementación del Plan de Acción “Agenda Panamericana del IPGH 2010-2020” del IPGH, atribuyendo prioridad al desarrollo de la infraestructura regional de datos espaciales y sus componentes con el fin de apoyar a los Estados Miembros en el desarrollo de las bases de datos espaciales fundamentales y su interoperabilidad (IPGH, 2009). Para esto, se debe:

- Acordar una política del IPGH sobre Datos Espaciales Fundamentales, incluyendo red de control geodésico, geografía de base, administración espacial, infraestructura, uso de suelos y ambiente;
- Promover la ejecución de planes decenales para la producción, actualización y mantenimiento de las bases de datos fundamentales en los Estados Miembros;
- Establecer un programa de actividades para apoyar a los Institutos Geográficos responsables de la cartografía nacional en sus procesos de formación de recursos humanos y modernización funcional y tecnológica;
- Apoyar iniciativas nacionales basadas en estándares internacionales y conceptos de Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), en particular, proyectos que desarrollen la cultura de documentación y la creación de catálogos de datos geoespaciales;
- Apoyar a las entidades nacionales responsables de la cartografía en los procesos de certificación de estándares y normas internacionales promovidos por la ISO.

De la misma manera, el “Plan de Acción Conjunto 2013-2015 para acelerar el desarrollo de la Infraestructura de Datos Espaciales de las Américas” realizado por el IPGH en conjunto con las organizaciones SIRGAS, CP-IDEA (actual UN-GGIM Américas) y CAF/IPGH-GEOSUR (Red Geoespacial de América Latina y el Caribe), tiene como objetivo el establecimiento de la IDE nacional y regional a través del datos brindados por las organizaciones nombradas. El papel esencial que desenvuelve SIRGAS en este plan de acción, es el de proveer el marco geodésico preciso y confiable, indispensable para la georeferenciación de los datos espaciales (IPGH; SIRGAS; CP-IDEA; GeoSUR, 2013).

Con lo expuesto, se reflejan las acciones que se están realizando para la estandarización de la geoinformación y su unificación. Sobre este fundamento, se

buscó la forma de presentar los resultados de esta investigación (ver Capítulo 4 de Resultados), en un formato acorde con las Normas que atienden a la Información Geográfica y a la estructuración de Sistemas. En los otros resultados que no pudieron seguir un estándar, se usaron formatos adaptados, considerando trabajos anteriormente realizados durante la evolución de SIRGAS y considerando los estándares que las otras organizaciones inmersas en el estudio de los sistemas de referencia vertical y derivados llevan en su información.

3 METODOLOGÍA

En el desarrollo de la metodología (Ver Figura 11), se analizó el área de estudio, el cual en una primera parte comprendía a los países miembros de SIRGAS que se encuentran en América del Sur. Después de un análisis general de la información que cuentan las redes que componen SIRGAS, se buscó detectar aspectos críticos referentes de cada una de estas. Debido a la extensa información recopilada, a características y problemas específicos de cada red, fue necesario un análisis individual. Por esta razón se estableció una nueva área de estudio que permita aplicar la metodología desarrolla y poder definir posibles estrategias de solución para esa área en específico.

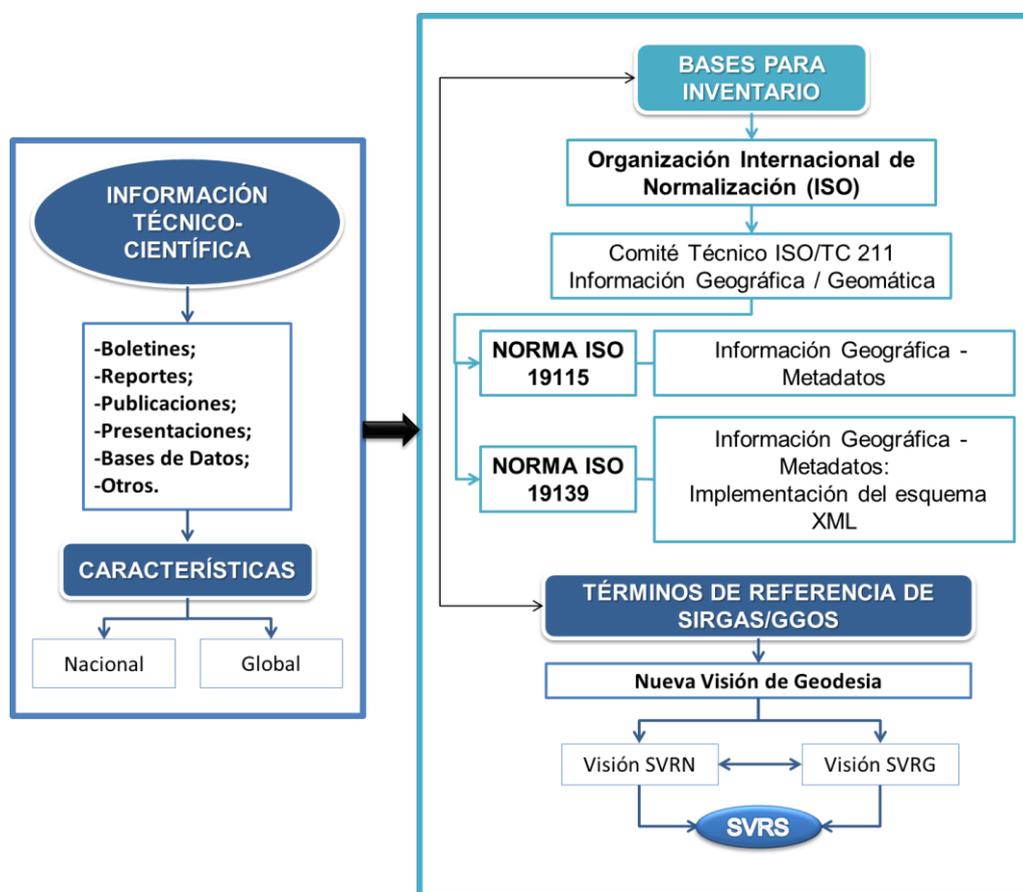


FIGURA 11 - ESQUEMA GENERAL DE LA METODOLOGÍA

FUENTE: La autora (2014)

Se consideró como caso de estudio a la República del Ecuador, específicamente al territorio continental, para realizar el inventario según los términos

de referencia de SIRGAS/IAG/GGOS. Al realizar el inventario, se procura obtener todos los detalles en forma de metadatos, de los datos geodésicos de las redes horizontales y verticales del Ecuador, tomando en cuenta la revisión de las referencias técnico-científicas, a más de los datos de libre acceso. Una de las bases técnico-científicas más relevantes son los Boletines Informativos de SIRGAS, que condensa todo el trabajo que los Grupos de Trabajo de SIRGAS desarrollan año tras año (ver en referencias bibliográficas los documentos consultados).

En la Figura 11 se muestra un esquema de la información utilizada para desenvolver la metodología del estudio propuesto, el cual puede ser replicado en los otros países que quieran realizar su inventario de metadatos.

3.1 TÉRMINOS DE REFERENCIA DE SIRGAS/IAG/GGOS

Los estudios técnico-científicos referentes a los Sistemas de Referencia Verticales que viene realizando SIRGAS por medio del GTIII, son de vital importancia para el avance del establecimiento de la Red Vertical de Referencia SIRGAS (RVRS), que permitirá combinar consistentemente alturas geométricas y físicas. Para la continuidad del trabajo realizado, es necesario la participación activa de los países miembros de SIRGAS, para que realicen las tareas pendientes como: complementar las vinculaciones por nivelación de precisión de los puntos fundamentales (mareógrafos y entre los países limítrofes); disponer de los datos nacionales en formato digital y; concretar el ajuste continental de toda la información disponible (BRUNINI *et al.*, 2013).

Se dará énfasis al desarrollo y uso de los términos de referencia de SIRGAS/IAG/GGOS, basados en diferentes estrategias que van acorde con los objetivos del Tema 1 de GGOS, como por ejemplo:

- Uso de convenciones de las Organizaciones inmersas en la investigación;
- Uso de tecnología espacial para la obtención de datos;
- Uso de la información geodésica nacional y global con índice de precisión y confiabilidad;
- Uso de datos espaciales en zonas sin información para brindar nuevas alternativas de solución (PVCG);

Estas estrategias permitirán dar posibles alternativas de conexión a las redes verticales de América vinculados a un SVRG. Se destaca que con base en el inventario que contiene características generales y específicas de cada país relacionado a la visión de SIRGAS/IAG/GGOS, se podrá realizar un plan de acciones futuras a corto, mediano y largo plazo, así como se muestra en las Estrategias de Solución (sección 4.2.).

3.1.1 Información de Redes verticales y gravimétricas: visión nacional y global.

Considerando que tanto la gravimetría como la altimetría asumen diferentes papeles y grados de importancia en cada estrategia, es importante detallar sus funciones.

En la forma convencional, la contribución subyacente de la gravimetría acompaña las conexiones de las redes, sin embargo las tolerancias de error para gravimetría son bastantes grandes pues la propagación de estos para los números geopotenciales no es crítica. En muchos casos, solamente la interpolación de valores de la gravedad es suficiente. Con esta condición la gravimetría absoluta asume un papel de relevante importancia en los ajustes de las redes gravimétricas de cada país, no obstante sin mucha relevancia para SIRGAS si son consideradas estrategias convencionales. Si pensamos en la solución de Molodenskii para el primer PVCG, las redes verticales son determinadas y la solución solo podrá ser satisfactoria a lo largo de las líneas de nivelación. La solución es totalmente dependiente del *datum* altimétrico ya que el geopotencial debe ser propagado a lo largo de la línea de nivelación (DE FREITAS, 2014, no publicado).

En la forma fija, asume mayor importancia la gravimetría y menor importancia las ligaciones de nivelación geométrica ya que el foco pasa a ser la gravimetría asociada con GNSS (mismo en áreas inaccesibles a la nivelación geométrica convencional) y la producción de disturbios de la gravedad a ser utilizados para la solución del PVCG y de números geopotenciales en un sistema global, las cuales son calculadas de forma independiente de las redes de nivelación o de *data* verticales locales. De esta forma asume mayor importancia la gravimetría pero sin aquel vínculo

fuerte con las redes de nivelación convencionales. Es así como surge la necesidad de redes gravimétricas confiables para las cuales el ajustamiento con base en las estaciones absolutas es ciertamente recomendable (DE FREITAS, 2013).

Este enfoque tiene como principal interés el permitir asociar los productos más modernos de las misiones GRACE y GOCE + altimetría por satélites e independiente de conexiones materiales (nivelación convencional) entre los países y sin el efecto del *datum* altimétrico de cada país. Dentro del contexto del segundo PVCG y dentro de un contexto fijo, se tienen como mérito también la posibilidad de asociar segmentos existentes de redes nacionales, permitiendo la generación de herramientas de conversión que evidentemente serán fundamentales para los usuarios de las redes convencionales y a los propósitos científicos más avanzados tal como a conexión a un SVRG (DE FREITAS, 2013).

Estas son las estrategias que se proponen para SIRGAS y que ciertamente exigirá mucho menos recursos financieros que las soluciones convencionales. Por ejemplo, es posible la generación de modelos de geoide/cuasi o geoide en cualquier región del continente con una resolución estimada de 30 cm (GERLACH y RUMMEL, 2012) o mejor desde que se tenga datos apropiados para el desarrollo de esta estrategia.

Ciertamente las redes de nivelación no pierden su importancia dentro del contexto de SIRGAS y deben continuar existiendo, y en la medida de lo posible ser ampliadas, pero sin aquella presión derivada de la primera alternativa y de soluciones clásicas del PVCG. Pensando en estas redes, es fundamental aumentar el control altimétrico a lo largo de las líneas de la costa y en áreas que permitan conexiones con los mareógrafos y con los países limítrofes ya que estas ligaciones son elementos fundamentales para el análisis de las soluciones para la unificación intra-país y entre países. De la misma forma, es fundamental la actividad del vínculo de las redes verticales con las estaciones SIRGAS-CON, de esta forma se mantendrá enlazada la componente física de la componente geométrica ya estandarizada (DE FREITAS, 2013).

3.2 NORMAS PARA EL INVENTARIO BASADO EN DATOS Y METADATOS

En los países miembros de SIRGAS, se muestra la falta de creación de Base de Datos (*DataBase* - DB) o las deficiencias existentes en estas, tales como: datos difusos entre diferentes organismos inclusive dentro de un mismo país; DB creadas parte con datos libres y parte con datos propietarios; datos con diferentes calidades o con calidad desconocida; entre otras. Como resultado, se evidencia la necesidad de crear un inventario de los datos geodésicos existentes, el cual será el primer paso para el desarrollo de una DB que contenga la información necesaria para contribuir en la toma de decisiones respecto a la definición del nuevo Sistema Vertical de Referencia SIRGAS.

En septiembre de 2013 fue propuesta la disposición de los datos en formato digital (BRUNINI *et al.*, 2013) y con esto, se hace evidente la construcción de bases de datos con sus respectivos metadatos asociados a las informaciones relacionadas a los propósitos de modernización de las redes verticales en el contexto de SIRGAS-GTIII (Ver Sección 2.1.2.1).

Durante años, inclusive antes de la creación de SIRGAS, los países de América del Sur generaron una gran cantidad de información geoespacial sin ninguna línea de referencia específica, con temáticas diferentes, diversas metodologías, clasificaciones, varios formatos de almacenamiento, entre otros aspectos.

Para el caso de la creación del inventario para SIRGAS-GTIII, se consideró una primera propuesta de una Base de Datos de las Redes Verticales De América del Sur (Sánchez, 1998), y de otros trabajos generados por SIRGAS-GTIII, como fue detallado en la Sección 2.3.

Otra consideración importante es sobre las restricciones en el acceso de los datos geodésicos, debido a las políticas de información que rigen en cada país. Por esta razón, se vio la necesidad de trabajar con información que sea de libre acceso, como documentación técnico-científica generada durante años por todos los países miembros de SIRGAS y que describen a los datos geodésicos. Se extrajo características de los datos, que evidencien el estado de las redes existentes de manera nacional y regional. Se resolvió trabajar con metadatos, los cuales fueron una alternativa para el desarrollo de esta investigación. Se hizo esta consideración por la importancia del conocimiento de las características, origen, calidad, fiabilidad de los

datos; así como para permitir que estos sean homogéneos e interoperables. Los metadatos dieron la pauta para participar en la creación de una futura IDE que almacena datos de los países pertenecientes a SIRGAS. Otro punto importante, son las dificultades que se presentan en el acceso de los datos.

3.2.1 Datos Geográficos

Se analizó la información como **Datos Geográficos** (ver Tabla 4), los cuales consideran diversas metodologías empleadas para su levantamiento y procesamiento, clasificación de acuerdo con su precisión, forma de adquisición, normalización o requisitos mínimos, con el fin de poder ser almacenados en una Base de Datos. Estos permitirán analizar, modelar y describir el mundo real. También se consideró la naturaleza de los datos incluyendo a los semánticos. Por ejemplo, aspectos intuitivos de la cobertura o geometría de las redes de nivelación que pueden ser clasificadas a través de variables semánticas.

Los CDG generados en esta disertación, se basan específicamente en los datos geodésicos existentes en los países miembros de SIRGAS, que se encuentran descritos en la información técnica-científica utilizada.

TABLA 4 - DATOS GEOGRÁFICOS DE ESTUDIO

DATO	DESCRIPCIÓN	REQUISITOS MÍNIMOS
Estación Mareográfica	Punto donde se encuentra un mareógrafo para medir y registrar las oscilaciones del nivel del mar a través del tiempo. Algunas de estas estaciones pueden ser consideradas como <i>Data Verticales</i> .	Contar con un mareógrafo; Contar con observaciones horarias del NMM mínimo de 1 año (ideal de 18,6 años o más); contar con información histórica; Metodología de levantamiento; Conocimiento del NMM y del respectivo periodo de determinación.

Continúa

TABLA 4 - DATOS GEOGRÁFICOS DE ESTUDIO

Continuación

DATO	DESCRIPCIÓN	REQUISITOS MÍNIMOS
Punto de Nivelación	Punto que tiene medida su altura o distancia vertical sobre la superficie de la Tierra. Para la nivelación es importante la diferencia de alturas o desniveles entre dos puntos nivelados. Estos pueden ser considerados como puntos nodales, puntos extremos de líneas de nivelación, entre otros.	Contar con la información posible del levantamiento (libretas de campo) y en formato digital; tener archivos clasificados de las líneas de nivelación, puntos de nivelación, nodos de nivelación; realizar el ajuste de acuerdo al criterio de precisión según el levantamiento (primer, segundo y tercer orden); en el caso de re nivelación descartar la línea de menor precisión; conocer si se realizó correcciones de los efectos del campo de gravedad; metodología de levantamiento; Es recomendable tener circuitos y nodos que permitan el ajuste de la red con base en desniveles observados en nivelación y contra-nivelación.
Estación SIRGAS 1995	Punto (latitud, longitud, altura elipsoidal) que corresponde a la primera campaña GPS SIRGAS95, que es una realización de ITRF94, época 1995.4	Contar con las monografías e información de campo;
Estación SIRGAS 2000	Punto que pertenece a la campaña SIRGAS2000 (latitud, longitud, altura elipsoidal), obtenida en ITRF2000, época 2000.4. Puede haber estaciones también con coordenadas SIRGAS95.	Contar con las monografías e información de campo; conocer las estaciones levantadas también en SIRGAS95
Estación SIRGAS-CON	Punto GNSS (latitud, longitud, altura elipsoidal) que representa a estaciones de monitoreo continuo que forman parte de la red SIRGAS –CON.	Contar con las monografías e información de campo; realización de series temporales para demostrar la estabilidad de la estación y característica de su velocidad (linear?); Modelo de velocidades consistente para comparar con soluciones de series temporales.

Continúa

TABLA 4 - DATOS GEOGRÁFICOS DE ESTUDIO

		<i>Conclusión</i>
DATO	DESCRIPCIÓN	REQUISITOS MÍNIMOS
Punto GPS/GNSS	Punto que tienen coordenadas (latitud, longitud, altura elipsoidal) levantadas con equipos de poca o mucha precisión (ejemplo: GPS navegador, L1/L2) que contienen tecnología para mediciones de las constelaciones GPS o GNSS.	Contar con información y características del equipo; conocer la realización del Sistema de Referencia (esta en SIRGAS? cuál es la fecha de referencia?); método de levantamiento; especificación si el punto pertenece a una red (nivelación, gravimétrica, GPS/GNSS).
Estación Gravimétrica	Punto donde se haya medido el valor de la gravedad. Pueden ser una estación con mediciones de gravedad absoluta o relativa.	Contar con las monografías del punto; tipo de equipamiento; metodología de levantamiento; ajuste de la red gravimétrica y respectivas desviaciones estándar.
Punto de Frontera	Punto que esté ubicado en las zonas limítrofes de países vecinos. Puede tener latitud, longitud, altura elipsoidal, altura nivelada, gravimetría, números geopotenciales, diferencias de geopotenciales, otros.	Contar con las monografías del punto; metodología de levantamiento; nodos o puntos de nivelación para enlace entre países.
Área sin Información	Zona donde existe información pobre o nula, la cual no permite realizar trabajos específicos.	Información que sea confiable y que cuente con algún vínculo con los datos estandarizados, ya sea por padrones nacionales o regionales (SIRGAS).
Otros	Otros puntos que tengan características importantes para el estudio.	Información, si en el caso exista, que sea confiable y que cuente con algún vínculo con los datos estandarizados, ya sea por padrones nacionales o regionales (SIRGAS).

FUENTE: La autora (2014)

3.2.2 Conjuntos de Datos Geográficos

Una vez levantados los Datos Geográficos, se realizó un análisis para determinar los CDG, los cuales son divididos en:

- RGeRS: Red Geométrica de Referencia SIRGAS;

- DV: *Datum Vertical*;
- RVR: Red Vertical de Referencia;
- RG: Rede Gravimétrica;
- ASI: Área sin información.

Los CDG son la base para el desarrollo de las estrategias de solución para cada uno de los países. Para ver su aplicabilidad, se presentan en la Sección 4.3.2, las estrategias de solución para el caso de estudio en Ecuador.

3.2.3 Tipos de Combinación de Datos

Una vez clasificados los datos, se abordó su respectivo análisis, considerando diversas condiciones que los envuelven y que generan información relevante. En este sentido, se condiciona y se caracteriza como **Tipos de Combinación de Datos**, tal como muestra De Freitas (2013), y otros que fueron descubiertos en el desenvolvimiento del estudio (ver Tabla 5).

TABLA 5 - TIPOS DE COMBINACIÓN DE DATOS

COMBINACIÓN DE DATOS	
TIPO 1	Solamente Nivelación con latitud y longitud de escala;
TIPO 2	Nivelación + GPS topográfico (navegador) L1;
TIPO 3	Nivelación + GPS (GNSS) geodésico L1/L2;
TIPO 4	Tipo 1 + Gravimetría;
TIPO 5	Tipo 2 + Gravimetría;
TIPO 6	Tipo 3 + Gravimetría;
TIPO 7	Gravimetría + GPS topográfico (navegador) L1;
TIPO 8	Gravimetría + GPS (GNSS) geodésico L1/L2;
TIPO 9	Puntos de la Campaña SIRGAS 2000 + Nivelación;
TIPO 10	Puntos de la Campaña SIRGAS 2000 + Gravimetría;
TIPO 11	Puntos de la Campaña SIRGAS 2000 + Nivelación + Gravimetría;
TIPO 12	Estación SIRGAS-CON + Nivelación;
TIPO 13	Estación SIRGAS-CON + Gravimetría;
TIPO 14	Estación SIRGAS-CON + Nivelación + Gravimetría;
TIPO 15	Mareógrafo + Conexión con nivelación (geométrica, científica, otras);

Continúa

TABLA 5 - TIPOS DE COMBINACIÓN DE DATOS

COMBINACIÓN DE DATOS		<i>Conclusión</i>
TIPO 16	Mareógrafo + GPS topográfico (navegador) L1;	
TIPO 17	Mareógrafo + Conexión con GPS (GNSS) geodésico L1/L2;	
TIPO 18	Mareógrafo + Gravimetría;	
TIPO 19	Mareógrafo + Tipo 3 + Gravimetría;	
TIPO 20	Puntos fronterizos + Conexión de redes de nivelación con países vecinos;	
TIPO 21	Puntos fronterizos + Conexión con GPS (GNSS) geodésico L1/L2;	
TIPO 22	Puntos fronterizos + Gravimetría;	
TIPO 23	Sin información;	
TIPO 24	Otros.	

FUENTE: La autora (2014)

Estas condiciones son potencialmente importantes en la determinación de la mejor solución para el tratamiento de los datos y su asociación con la altimetría, en vista de los términos de referencia de SIRGAS/IAG/GGOS.

Como fue especificado anteriormente, no fue posible la creación de un inventario de datos, con lo cual se generó otras. Fue necesario recurrir a la recopilación de información que describa a los datos, convirtiéndose así en un inventario de metadatos. Este contiene información específica y significativa para la generación de posibles soluciones de integración de los Sistemas Verticales de Referencia Nacionales (SVRNs), que junto con Normas ISO/TC 211, tal como fue presentado en la Sección anterior, son el complemento para este estudio.

4 RESULTADOS

Se muestran resultados en el ámbito global, regional y nacional. Para el ámbito nacional, se consideran resultados referentes al caso de estudio desarrollado en la presente disertación.

4.1 DIAGRAMAS DE CASO DE USO

El Diagrama de Caso de Uso de para SIRGAS- GTIII es presentado en la Figura 12. Se muestra como actor principal a SIRGAS y como actores secundarios tenemos a SIRGAS-GTI, SIRGAS-GTII y SIRGAS-GTIII, los cuales tienen objetivos y metas ya establecidas. Para el caso de estudio, se considera a SIRGAS-GTIII (Ver Sección 2.1.2.1), y con este se presenta los diferentes objetivos que ayudan a comprender al Caso de Uso presentado, el cual es la Unificación de los Sistemas Verticales de Referencia Nacionales. Otro caso de uso considerado en el diagrama, es el trabajo en conjunto con otros Actores, los cuales son los países miembros de SIRGAS.

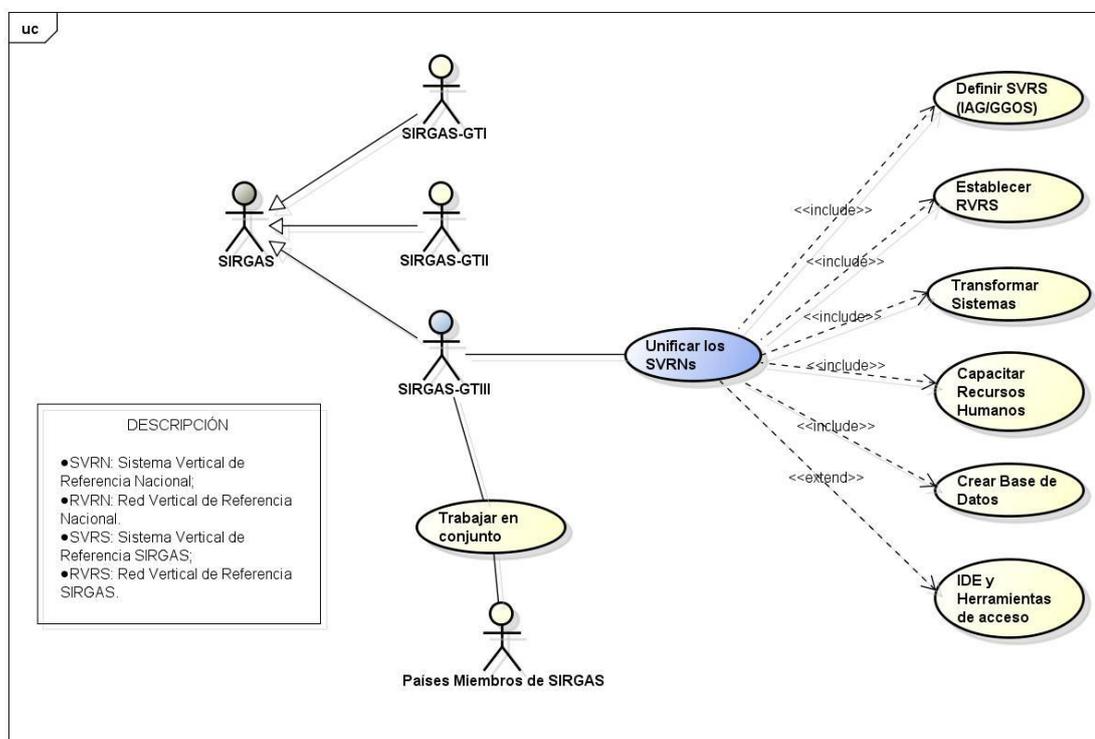


FIGURA 12 - DIAGRAMA DE CASO DE USO PARA SIRGAS-GTIII

FUENTE: La autora (2014)

En la Figura 13, se presenta el Diagrama de Caso de Uso para Ecuador, el cual presenta al usuario la importancia del trabajo desarrollado por cada país miembro de SIRGAS para crear y actualizar convenciones y normas para atender las exigencias del SIRGAS-GTIII. Por otra parte, se detalla todos los componentes u objetivos que son necesarios para que el Caso de Uso de Homogenización de datos se pueda cumplir. Dichos objetivos, atienden directamente a la actualización o determinación de los Conjuntos de Datos Geográficos (CDG) presentados para el caso de uso de Ecuador.

Es importante considerar desarrollar un Caso de Uso para cada uno de los países miembros de SIRGAS, ya que cada uno de estos, podrían tener escenarios y CDG diferentes de los presentados en esta disertación.

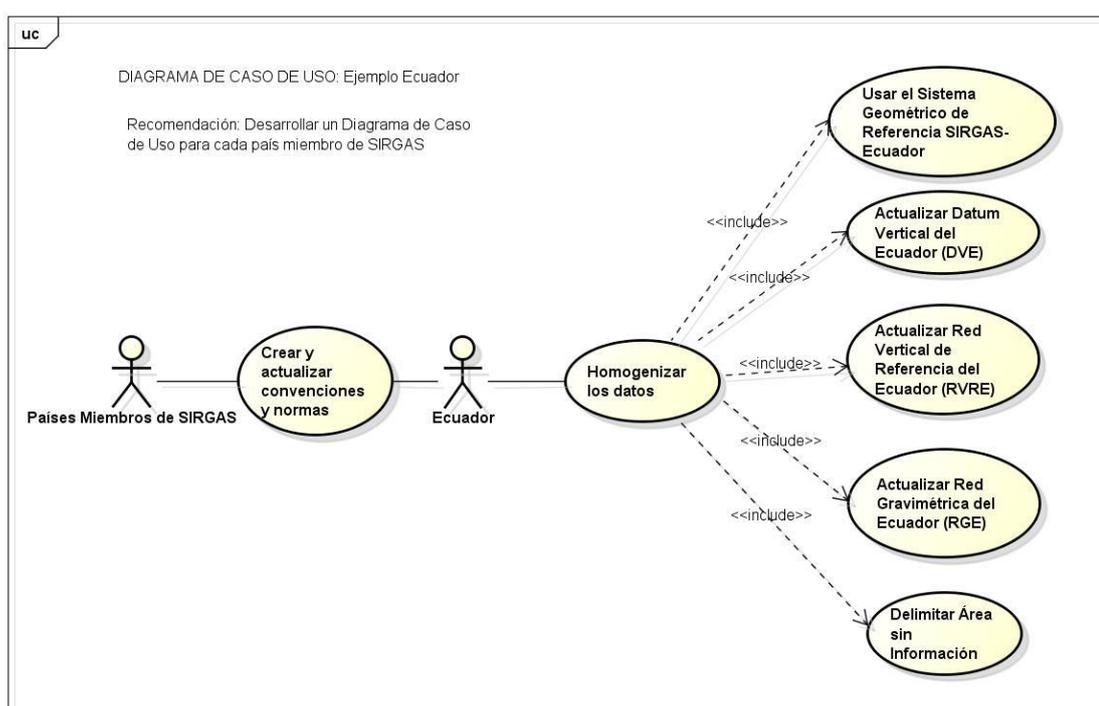


FIGURA 13 - DIAGRAMA DE CASO DE USO PARA ECUADOR

FUENTE: La autora (2014)

4.2 DIAGRAMA DE CLASES

El diagrama de clases desarrollado (Ver Apéndice 1), considera como eje principal a SIRGAS y a sus tres Grupos de Trabajo, los cuales se encuentran relacionados con la componente geométrica y la componente física del Sistema

Vertical de Referencia SIRGAS (Ver Sección 2.1.2.1). Cada uno de ellos, han sido disgregados en clases con sus atributos, métodos u operaciones y relaciones para un mejor entendimiento.

Para el caso de SIRGAS-GTIII, esta clase depende de la información tanto de la componente geométrica dividida en: Punto/Estación de Nivelación, de GPS/GNSS y de Mareógrafo; así como de la componente física formada por: Gravimetría, Tipo de Altura y Número Geopotencial. La componente física contiene a los Conjuntos de Datos Geográficos (CDG) levantados en esta investigación, específicamente detallados en la Sección 4.3.2 y presentados en el Diagrama de Clases que especifica los atributos y relaciones de cada uno de ellos. Es importante conocer que los CDG también se relacionan con la componente geométrica, ya que esta es la base para el nuevo Sistema Vertical de Referencia SIRGAS (SVRS). Otra importante descripción del Diagrama de Clases es la interrelación que tienen los metadatos Generales (presentados de la Sección A a la Sección G) y Específicos (mostrados como atributos en los CDG) que pertenecen a las planillas de metadatos generadas, tal como indica la Sección 4.4.

4.3 ESTRATEGIAS DE SOLUCIÓN

Se desarrolló estrategias de solución basados en la información geodésica de las Redes Verticales de Referencia Nacional. En la Figura 14, se muestra la lógica del uso de la información nacional y global para el establecimiento de un SVRS.

Con una perspectiva sobre las estrategias para la generación de posibles soluciones nacionales, se analizó de forma general las redes sudamericanas, para encontrar similitudes en sus realizaciones y detectar puntos críticos. Con esto se pudo detectar diferentes soluciones en el ámbito nacional y continental:

Soluciones Nacionales: Revisar el estado actual de las Redes Verticales de Referencia Nacionales (RVRNs); elaboración del diagnóstico de las redes verticales existentes; ajuste de las Redes de Nivelación; ajuste de las Redes Gravimétricas; evaluación de las redes nacionales a través de números geopotenciales; determinación de Números Geopotenciales para la creación de herramientas de

transformación (nacional-global), preservando soluciones individuales de las redes existentes.



FIGURA 14 - USO DE LA INFORMACIÓN GEODÉSICA

FUENTE: La autora (2014)

Soluciones Continentales: Integración de las redes de nivelación con datos de gravedad y posicionamiento GNSS para la determinación de números geopotenciales (nacionales y regionales) referidos al Sistema Vertical de Referencia Global (SVRG); estudio de la distribución y conexiones de las redes verticales con los países vecinos, considerando como países claves a Ecuador, Perú y Bolivia para el enlace de las redes sudamericanas (ver la Figura 15), debido a su ubicación estratégica para conseguir el enlace entre todos los países de América del Sur; soluciones continentales integradas para el PVCG en su forma fija; determinación de desniveles geopotenciales independientes de un SVRN que basados en gravimetría, nivelación y altimetría con GPS/GNSS, integrando así, visiones nacionales y globales.

Estas posibles estrategias de solución a corto, mediano o largo plazo pueden enmarcarse como un plan de acción para el SIRGAS-GTIII, junto con el trabajo y capacitación de los países miembros del Grupo de Trabajo del *Datum* Vertical.



FIGURA 15 - CONEXIÓN DE PAÍSES

FUENTE: Adaptado de SIRGAS (2014)

4.3.1 Ejemplos de estrategias para unificar los SVRN y su vinculación al SVRG.

El desarrollo de investigaciones direccionadas hacia la búsqueda de estrategias para la unificación de sistemas nacionales/regionales y su vinculación a un SVRG son la base fundamental para entender los problemas que se pueden presentar en la integración, además incrementa el conocimiento en la rama de la Geodesia.

Se han desarrollado varias investigaciones científicas que abarcan la nueva visión de la Geodesia, algunas de estas se encuentran consideradas a continuación:

- Ihde (2007), enlazando datos nacionales con los globales: nivelación + GPS/GNSS + MGGs + Gravimetría;
- Gerlach e Rummel (2012), establecimiento de un SGA basado en MGGs de GOCE en conjunto con observaciones GPS/GNSS y Modelos Digitales de Alturas – MDA;
- Ferreira *et al.* (2014), con una visión de independencia de los datos de nivelación a través de las soluciones fijas del PVCG junto con MGGs.
- Montecino (2014), Estudio de las Redes Verticales a través de MGGs y de Modelo superficie global media del océano CNES CLS 2011.

También se ha recopilado algunas de las investigaciones relacionadas a la creación de posibles estrategias de solución y a la aplicación de las mismas. Estas pueden ser tomadas como referencia para el desarrollo de estrategias para cada país considerando las características únicas de sus redes verticales considerando la nueva visión de la Geodesia:

- Problemas asociados al vinculación de las Redes Verticales de América del Sur y posibles enfoques ante estos problemas (DE FREITAS *et al.*, 2002);
- Modelamiento del potencial anómalo en el *Datum* Vertical Brasileiro visando su nueva definición (DE FREITAS *et al.*, 2007);
- Estrategias para modernización de la componente vertical del Sistema Geodésico Brasileiro y su integración a SIRGAS (LUZ, 2008).
- Conexión de las Redes Verticales fundamentales de Brasil y de Argentina con base en Números Geopotenciales (PEREIRA, 2009);
- Determinación de la diferencia de geopotencial del *Datum* Vertical Brasileiro relativo al EGM2008 (FERREIRA *et al.*, 2010);
- Preparación para la sustitución de los *data* horizontal y vertical oficiales en los Estados Unidos (SMITH Y SHIELDS, 2010);
- Separación entre el Geoide y el cuasi-Geoide: Un análisis en el contexto Brasileiro (FERREIRA *et al.*, 2011);

- Números geopotenciales provenientes de levantamiento satelital GPS y del modelo de potencial perturbador: un estudio de caso de Paraná, Brasil (FERREIRA et al., 2011);
- Propuesta de Alternativas para conexión de los *Data* Verticales Brasileiros de Imbituba y Santana (MONTECINO, 2011);
- Un intento de vínculo del Sistema Altura de Brasil para un Sistema Mundial de Altura (FERREIRA Y DE FREITAS, 2012);
- Solución de tipo Brovar para el Segundo Problema de Valor de Contorno de la Geodesia con vista a la modernización de Sistemas de Altitudes (FERREIRA, 2011);
- La validación basada en la diferencia de los modelos del campo de gravedad GOCE y datos de nivelación/GPS y EGM08 en un área de estudio en Brasil (FERREIRA et al., 2013);
- Análisis de las discrepancias entre los marcos de referencia verticales de Argentina y Brasil (GOMEZ et al., 2014);
- Análisis del Vínculo del *Datum* Vertical Brasileiro a un Sistema Global de Altitudes (PALMEIRO et al., 2013);
- La unificación de los sistemas de alturas con GOCE y la definición del Sistema de Referencia Vertical de América del Norte (RANGELOVA y SIDERIS, 2013);
- Conexión de Redes Altimétricas locales al Sistema Geodésico Brasileño con base en el SGA (MOREIRA, 2014, no publicado).

4.3.2 Estrategias de Solución para el caso de estudio de Ecuador.

Las siguientes Tablas y Figuras representan la recopilación y análisis que se realizó en base a la información técnico-científica de Ecuador y se presentan las posibles soluciones para homogenizar sus datos. Es importante resaltar que lo que se muestra no es toda la información con la que cuenta el país, ya que mucha de esta es restringida.

Se generó los siguientes Conjuntos de Datos Geográficos (CDG) que se irán describiendo a continuación:

- Red Geométrica de Referencia SIRGAS-Ecuador (RGeRS-Ecuador);

- *Datum* Vertical del Ecuador (DVE);
- Red Vertical de Referencia del Ecuador (RVRE);
- Red Gravimétrica del Ecuador (RGE);
- Puntos de conexión del Ecuador;
- Área Sin Información (ASI).

Cada CDG está compuesto por una serie de especificaciones que ayudan a enlazar y relacionar la información inicial que se levantó de los Datos Geográficos y de los Tipos de Combinación de Datos (ver Sección 3.2.1 y Sección 3.2.2) con las características, avances, estrategias y posibles soluciones que se analizaron durante la investigación.

Por ejemplo, el establecimiento del SVRS son necesarias las componentes geométricas y físicas. El Sistema Geométrico de Referencia SIRGAS-Ecuador reúne la componente geométrica. En la Tabla 6, muestra los datos que forman parte de este CDG y su distribución en el Ecuador continental a través de la Figura 16:

TABLA 6 - CDG RED GEOMÉTRICA DE REFERENCIA SIRGAS

RED GEOMÉTRICA DE REFERENCIA SIRGAS-ECUADOR (RGERS-ECUADOR)	
DATO	Estación SIRGAS 1995, Estación SIRGAS 2000 y Estación SIRGAS-CON, Punto GPS/GNSS
COMBINACIÓN DE DATOS	TIPO: 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14 (ver Sección 3.2.2)
UBICACIÓN	Ecuador Continental
CARACTERÍSTICAS	<ul style="list-style-type: none"> • Estaciones de Referencia y densificación; • Componente geométrica desarrollada; • Estaciones pasivas; • Estaciones de Monitoreo Continuo (Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador-REGME); • Datos y metadatos documentados; • Consideran la evolución temporal; • La REGME ha sido establecida a partir del año 2008, está conformada por 33 estaciones cuya distribución y densidad está en proceso de brindar una cobertura nacional; • Ejecuta sus actividades con el firme objetivo de mantener un Marco Geodésico de Referencia Nacional actualizado y compatible con las técnicas de posicionamiento disponibles en la actualidad, como son los sistemas satelitales de navegación global: GPS, GLONASS y en un futuro cercano GALILEO (IGM, 2014); • Las estaciones permanentes se encuentran enlazadas a la Red Nacional GPS del Ecuador (RENAGE)

Continúa

TABLA 6 - CDG RED GEOMÉTRICA DE REFERENCIA SIRGAS

<i>Conclusión</i>	
RED GEOMÉTRICA DE REFERENCIA SIRGAS-ECUADOR (RGERE-ECUADOR)	
AVANCES	<ul style="list-style-type: none"> • Establecimiento del Centro de Procesamiento de Datos GNSS del Ecuador (CEPGE). • Determinación del Campo de Velocidad del Ecuador – VEC_Ec obtenido a través de medidas GPS de los últimos 15 años (CISNEROS, 2012)
ESTRATEGIAS	<p>Usar la Red Geométrica de Referencia SIRGAS-Ecuador como base para la componente física para definición del SVRS.</p> <p>Usar las Estaciones de monitoreo continuo para levantar la ubicación de las principales estaciones gravimétricas y nodos de nivelación con GPS (GNSS geodésico L1/L2). Estas estaciones son fundamentales para la futura determinación de las velocidades de los punto de nivelación;</p>
POSIBLE SOLUCIÓN	No se presenta una posible solución debido a que el estudio se encuentra enfocado en la componente física y no en la componente geométrica del SVRN de Ecuador.

FUENTE: La autora (2014)

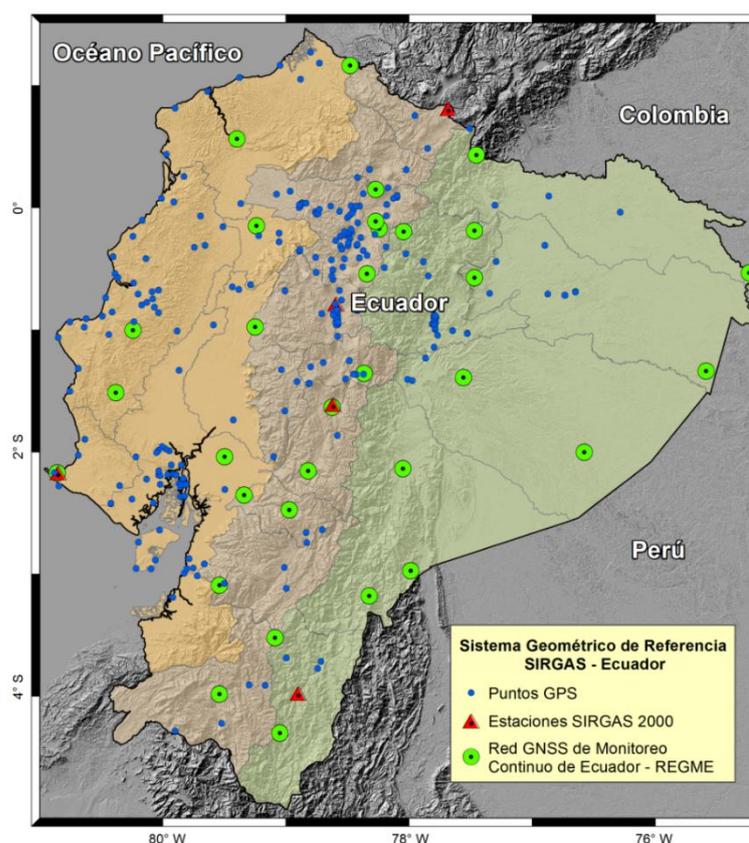


FIGURA 16 – DISTRIBUCIÓN DE LA RED GEOMÉTRICA DE REFERENCIA SIRGAS-ECUADOR

FUENTE: Adaptado del Instituto Geográfico Militar del Ecuador (2014)

Para la alineación del *Datum* Vertical del Ecuador (DVE) a los términos de referencia SIRGAS/IAG/GGOS es necesario el análisis del dato “Estación Mareográfica”, y el desarrollo de estrategias de solución, tal como muestra la Tabla 7:

TABLA 7 - CDG DVE

DATUM VERTICAL DEL ECUADOR (DVE)	
DATO	Estación Mareográfica
COMBINACIÓN DE DATOS	TIPO: 15, 16, 17, 18, 19 (ver Sección 3.2.2)
UBICACIÓN	La Libertad - Provincia de Santa Elena, Región Costa
CARACTERÍSTICAS	<i>Datum</i> Vertical (DV) de Ecuador, llamado de La Libertad, es la base para la densificación de la nivelación en Ecuador continental. La cota de marca de nivel “BM3” la misma que es considerada como punto de partida para el arrastre de la nivelación de toda la Red de Control Básico Vertical del País, es de 6,2747m desde el NMM, el mismo que corresponde al periodo de 1948- 2002;
AVANCES	<ul style="list-style-type: none"> • Identificación y digitalización de la línea de conexión entre SIRGAS 2000 y el Mareógrafo La Libertad (SIRGAS 95); • Instalación de siete mareógrafos en la costa continental e insular de Ecuador, a fin de monitoreamiento del NMM; • Se estableció la estación “Santa Elena – SEEC” que pertenece a la REGME, con la finalidad de enlazar y monitorear al mareógrafo “La Libertad”.
ESTRATEGIAS	<ul style="list-style-type: none"> • Posicionamiento Geocéntrico de los mareógrafos (ITRS/ITRF); • Realizar nivelación geométrica para enlazar el mareógrafo con la Estación de Monitoreamiento Continuo • Modelaje de la evolución temporal del NMM; • Mejorar la resolución de los MGGs, reduciendo el error de omisión (por ejemplo, RTM y/o densificación gravimétrica); • Determinación del <i>Wi</i> en el <i>datum</i> con base en la solución del PVCG (libre y fijo) y determinación de la Topografía del NMM (TNMM); • Comparación con solución del modelo da Superficie Media del Mar (por ejemplo, el CLS 2011); • Encontrar la diferencia de potencial en el <i>datum</i> vertical, asociado con observaciones mareográficas, gravimetría, GPS/GNSS y modelos de superficie media del mar (e.g. CLS 2011).
POSIBLE SOLUCIÓN	Obtener datos TIPO 19: Mareógrafo + Nivelación + GPS (GNSS) geodésico L1/L2 + Gravimetría; Para que el DV sea vinculado a un SVRG, es necesario conocer la TNMM.

FUENTE: La autora (2014)

Para conocer la ubicación del *Datum* Vertical del Ecuador “La Libertad”, se presenta la Figura 17.

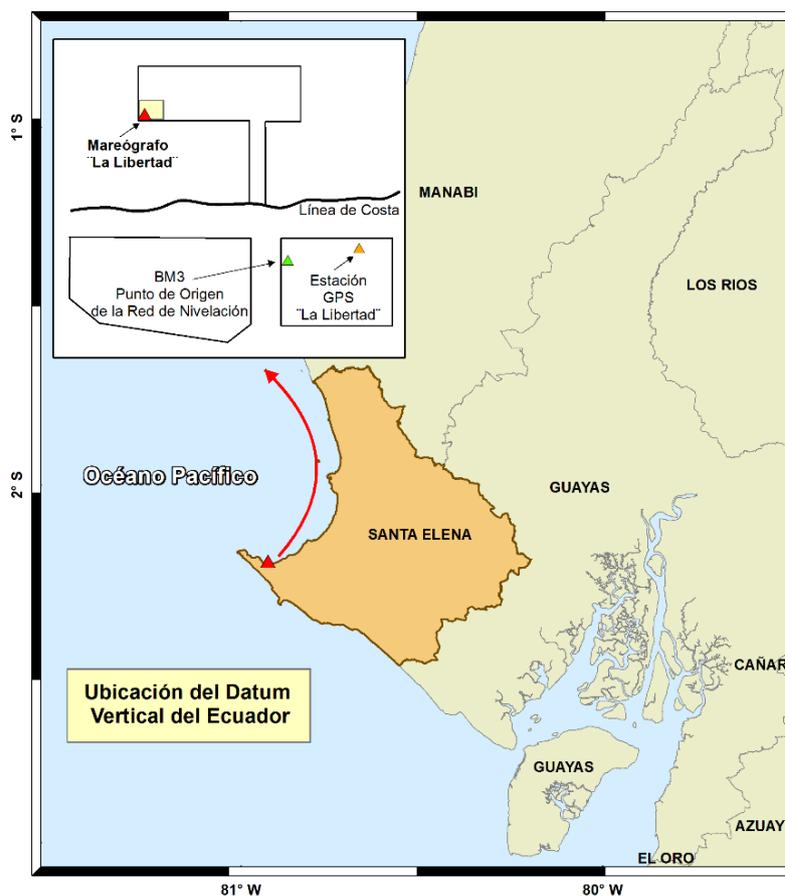


FIGURA 17 - UBICACIÓN DEL DATUM VERTICAL "LA LIBERTAD"

FUENTE: Adaptado de Paredes (1986)

Para la actualización de la Red Vertical de Referencia del Ecuador (RVRE), fue necesario el análisis de los datos “Estación Mareográfica” ya presentado y “Punto de Nivelación” que se presenta a continuación en la Tabla 8:

TABLA 8 - CDG RVRE

RED VERTICAL DE REFERENCIA DEL ECUADOR (RVRE)	
DATO	Estación Mareográfica, Punto de Nivelación
COMBINACIÓN DE DATOS	TIPO: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 11, 12, 14, 15, 19, 20 (ver Sección 3.2.2)
UBICACIÓN	Ecuador Continental

Continúa

TABLA 8 - CDG RVRE

Conclusión

RED VERTICAL DE REFERENCIA DEL ECUADOR (RVRE)	
CARACTERÍSTICAS	<ul style="list-style-type: none"> • El origen de la Red de Control Básico Vertical del Ecuador se origina en la cota de marca de nivel "BM3". Este se encuentra cerca de la estación mareográfica "La Libertad", la cual representa el DV de país; • La Red de Control Básico Vertical de primer orden cuenta con 3.732 puntos de nivelación a lo largo de los principales ejes viales del país, los mismos inicialmente están distribuidos en 62 líneas, 20 anillos o circuitos y 38 nodos. Cada línea cuenta con placa inicial, placa final, desnivel, distancia, cota y años (de 1977-2009) en los que se realizó la nivelación. IGM (2010); • No existe densificación de la Red en el Oriente Ecuatoriano debido al acceso restringido a esta zona (falta de vías, zonas sin exploración, otros); • Esta Red se encuentra ajustada; • Existen puntos nivelados que no se encuentran en los anillos de nivelación.
AVANCES	<ul style="list-style-type: none"> • Digitación de los datos en formato físico de la Red de Control Básico Vertical; • Estudio de un Ajuste de la Red de Control Básico Vertical en función de números geopotenciales (Coyago, 2010), considerando nuevos anillos de nivelación; • Avances en el proyecto del IGM de remediación de los anillos fundamentales de la red vertical nacional; • Continuidad de la nivelación y renivelación; • Identificación y digitación de todas las líneas de nivelación que conectan las estaciones SIRGAS2000: (SIRGAS95 - Latacunga y Zamora -, mareógrafos - Libertad- y estaciones fronterizas -Tulcán y Zamora); • Se realizó el cálculo de los números geopotenciales de los nodos de nivelación
ESTRATEGIAS	<ul style="list-style-type: none"> • Antes del ajuste de la Red, analizar los errores de las alturas en las líneas de nivelación, y datos de gravedad originales, considerando la distancia máxima entre puntos de nivelación y gravimetría, a más de las condiciones topográficas; • Ajuste de la red vertical en función de números geopotenciales; • Revisión del Ajuste de la Red de nivelación, considerando los errores máximos de cierre; • Reajuste de los circuitos de nivelación que generen gran distorsión en la red durante su ajuste (ver los errores de cierre de los circuitos); • Densificación de líneas de nivelación en fronteras y en regiones amazónicas; • Determinación de las diferencias de geopotencial; • Determinación de diferencias en conexiones de frontera. • Determinación de Números Geopotenciales para determinación de parámetros de conversión.
POSIBLE SOLUCIÓN	<p>Obtener datos TIPO 6: (Nivelación + GPS (GNSS) geodésico L1/L2) + Gravimetría ya que con las redes de nivelación y gravimétrica debidamente ajustadas, se podrá desarrollar la solución con base en Ihde (2007-2011) para la conexión regional y para la unificación de un SVRG.</p>

FUENTE: La autora (2014)

La RVRE se puede observar en la Figura 18, la cual contiene la mayor parte de distribución de los datos levantados en la red. Se debe considerar que en esta figura no se encuentra todos los datos debido a su acceso restringido.

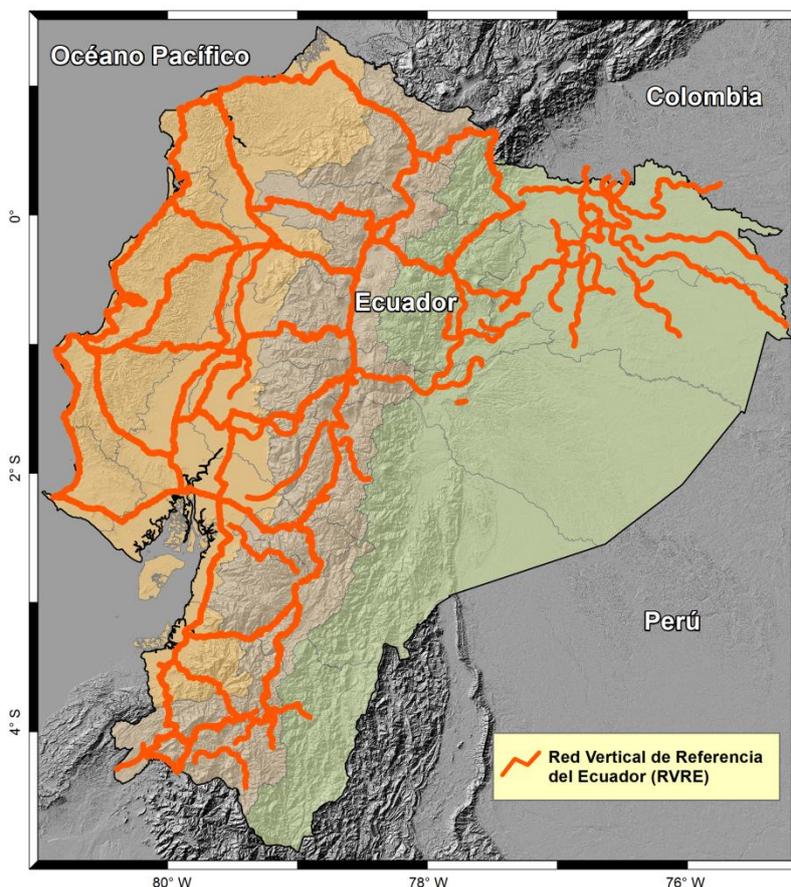


FIGURA 18 - UBICACIÓN DE CIRCUITOS DE NIVELACIÓN EN ECUADOR CONTINENTAL

FUENTE: Adaptado de Coyago (2010) e IGM (2013)

Considerando el Conjunto de Datos Geográficos Red Gravimétrica del Ecuador (RGE), se analizó el dato “Estación Gravimétrica”, como muestra la Tabla 9. Ver la distribución gravimétrica en la Figura 19.

TABLA 9 - CDG RGE

RED VERTICAL GRAVIMÉTRICA DEL ECUADOR (RGE)	
DATO	Estación Gravimétrica
COMBINACIÓN DE DATOS	TIPO: 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 18, 19, 22 (ver Sección 3.2.2)
UBICACIÓN	Ecuador Continental

Continúa

TABLA 9 - CDG RGE

Conclusión

RED VERTICAL GRAVIMÉTRICA DEL ECUADOR (RGE)	
CARACTERÍSTICAS	<ul style="list-style-type: none"> • La Red Gravimétrica Fundamental del Ecuador tiene como sistema de referencia el IGSN71 y fue determinada en tres campañas de campo: abril del 2002, septiembre del 2002 y septiembre del 2003, con apoyo técnico del IBGE y la Universidad de Sao Paulo (USP). • La Red Gravimétrica Fundamental del Ecuador se encuentra procesada y se obtuvo valores de gravedad de 37 estaciones relativas de primer orden, referidas a la estación IGSN-71 de Quito (2005), pero hasta la presente fecha no se encuentra ajustada. • Se cuentan con 2.250 puntos de gravedad observada a lo largo de las líneas de nivelación de la Red de Control Básico Vertical Nivelación Geométrica de Primer Orden (IGM, 2010).
AVANCES	<ul style="list-style-type: none"> • Tierra (2003), muestra la generación de mallas gravimétricas sobre el territorio ecuatoriano mediante el uso de redes neuronales artificiales; • Estudio del Ajuste de la Red de Control Básico Vertical en función de números geopotenciales (COYAGO, 2010); • Continuidad en la densificación de puntos de gravedad relativos; • Nuevos datos de gravedad fueron encuestados por IGM, IBGE y EPUSP en el período 2011 a 2012; • Levantamiento de puntos de gravedad a lo largo de los ríos Napo y Aguarico en la Amazonía Ecuatoriana. Estos valores de gravedad se conectaron a la Red Fundamental de la Gravedad de Ecuador; • Cálculo de la anomalía completa de Bouguer para el Ecuador Continental; • Gravimetría en Ecuador: red vial+ríos principales del oriente = 8721 km; • Establecimiento de tres estaciones absolutas de gravedad en Quito, Guayaquil y Quevedo. • Levantamiento en 2013 de 2 Grillas con un área de 10.000 km², 320 puntos en convenio IGM – U. SAO PAULO, apoyo técnico – económico para el cálculo del Modelo Geoidal del Ecuador. • Proyección para densificación Gravimétrica en 2013 - 2014 = 2000 km.
ESTRATEGIAS	<ul style="list-style-type: none"> • Ajuste de la RGE con base en las estaciones con gravedad absoluta; • Densificación gravimétrica en las líneas de nivelación + GNSS para generar números geopotenciales en una RVRG. Se podría aprovechar las campañas de re ajustes de las líneas de nivelación; • Interpolación gravimétrica a lo largo de las líneas de nivelación. Considerar la tolerancia para la interpolación de valores de gravedad o considerar gravimetría determinada por MGGs; • Medición de gravedad en puntos de frontera; • Mediciones de la gravedad + GNSS en las regiones sin líneas de nivelación para generar disturbios de la gravedad y números geopotenciales en una RVRG; • Determinación de los parámetros de transformación (RVRN ⇔ RVRG).
POSIBLE SOLUCIÓN	<p>Obtener datos TIPO 6: (Nivelación + GPS (GNSS) geodésico L1/L2) + Gravimetría ya que con las redes de nivelación y gravimétrica debidamente ajustadas, se podrá desarrollar la solución con base en Ihde (2007) para la conexión regional y para la unificación de un SVRG.</p>

FUENTE: La autora (2014)

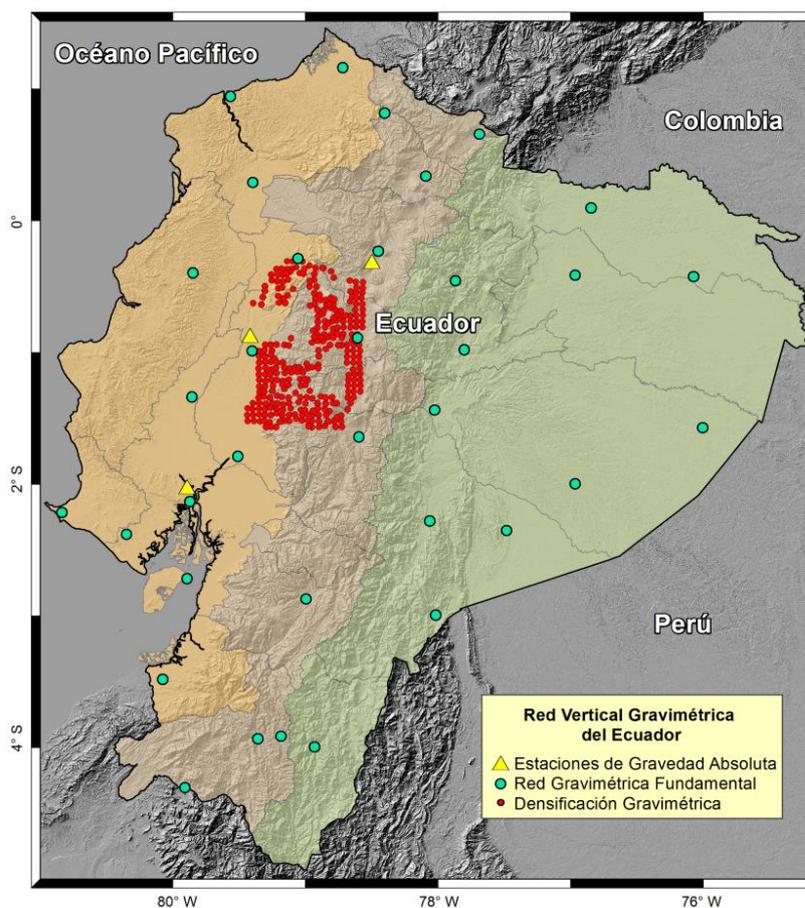


FIGURA 19 - UBICACIÓN DE PUNTOS GRAVIMÉTRICAS EN ECUADOR

FUENTE: Adaptado del IGM (2010)

Para las conexiones entre países, es necesario considerar el dato “Punto de Frontera”, para analizar los datos levantados y determinar los trabajos en conjunto. Las características, avances, estrategias y posibles soluciones se presentan en la Tabla 10:

TABLA 10 - EJEMPLO DE DATO H “PUNTOS DE FRONTERA”

CONEXIÓN DE ECUADOR	
DATO	Puntos de Frontera
COMBINACIÓN DE DATOS	TIPO 20, 21, 22 (ver Sección 3.2.2)
UBICACIÓN	Norte con Colombia, Este y Sur con Perú

Continúa

TABLA 10 - EJEMPLO DE DATO H “PUNTOS DE FRONTERA”

<i>Conclusión</i>	
CONEXIÓN DE ECUADOR	
CARACTERÍSTICAS	<ul style="list-style-type: none"> • Estos puntos definen la división territorial entre países. Estos puntos pueden ser hitos de frontera, ya que se encuentran en la línea limítrofe o puntos referenciales, que se colocan cerca de un accidente geográfico. • Es importante la reparación, reposición y densificación de los puntos localizados en la frontera.
AVANCES	<ul style="list-style-type: none"> • Densificación gravimétrica en zonas fronterizas Ecuador –Colombia y Ecuador-Perú gracias al IPGH. • Unificación de la Geoinformación en SIRGAS95 de la línea de frontera entre las Repúblicas de Ecuador y Perú; • Continua realización del Proyecto Hitos de Frontera para enlazar las redes de nivelación entre países; • Densificación gravimétrica en zonas fronterizas Ecuador –Colombia y Ecuador -Perú; • Identificación y digitación de todas las líneas de nivelación que conectan las estaciones SIRGAS2000 y estaciones fronterizas -Tulcán y Zamora SIRGAS95;
ESTRATEGIAS	Determinación de desniveles Geopotenciales independientes de las Redes Verticales de Referencia Nacionales, basados en gravimetría, nivelación y altimetría con GPS/GNSS
POSIBLE SOLUCIÓN	Solución que lhde (2007) desarrolló para la conexión regional y para la unificación de un SVRG.

FUENTE: La autora (2014)

En Ecuador Continental se analizó las áreas donde no existen datos terrestres de las redes geométricas, verticales y gravimétricas; o donde existe poca densificación de datos, la tabla a seguir (ver Tabla 11), muestra las posibles estrategias de solución ante este tipo de problema, y la Figura 20, muestra de forma general la localización de esta área sin información.

TABLA 11 - EJEMPLO DE DATO I “ÁREA SIN INFORMACIÓN”

ÁREA SIN INFORMACIÓN EN ECUADOR	
DATO	Área sin información.
COMBINACIÓN DE DATOS	TIPO 23 (ver Sección 3.2.2)
UBICACIÓN	Región Oriente

Continúa

TABLA 11 - EJEMPLO DE DATO I "ÁREA SIN INFORMACIÓN"

Conclusión

ÁREA SIN INFORMACIÓN EN ECUADOR	
CARACTERÍSTICAS	<p>Acceso limitado o nulo, debido a que la zona no está totalmente explorada o porque la inexistencia de vías, por tanto no se cuenta con datos de ningún tipo. Considerar que existe información gravimétrica en Ecuador que no puede ser utilizada debido a sus restricciones.</p>
AVANCES	<p>Debido a las limitaciones enfrentadas por la geografía de la zona, se cuenta con pocos avances de datos levantados en campo, actualmente se cuenta con cierta información gravimétrica proveniente de petroleras, de aero-gravimetría y de instituciones independientes que levantan esta información y que es restringida para libre acceso debido a su delicado manejo y empleo. Gracias a las misiones de satélite, podemos obtener datos gravimétricos los cuales son modelados mediante modelos globales del geopotencial.</p>
ESTRATEGIAS	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de MGGs tomando en cuenta su clasificación, grado de desenvolvimiento y dimensión del área de aplicación. • Combinación de MGGs y MDA con datos existentes para la solución del PVCG; • Nuevas mediciones gravimétricas locales; • Nuevo levantamiento de datos mediante sensores orbitales; • Independencia de las redes de nivelación.
POSIBLE SOLUCIÓN	<p>Determinar números geopotenciales o sus derivados (alturas físicas) con base en las soluciones de las nuevas técnicas espaciales como el uso de MGGs de GOCE en conjunto con observaciones GPS/GNSS con MDA (Gerlach y Rummel, 2012), o el uso del PVCG de forma fija en combinación con MGGs (FERREIRA <i>et al.</i> 2014)</p>

FUENTE: La autora (2014)

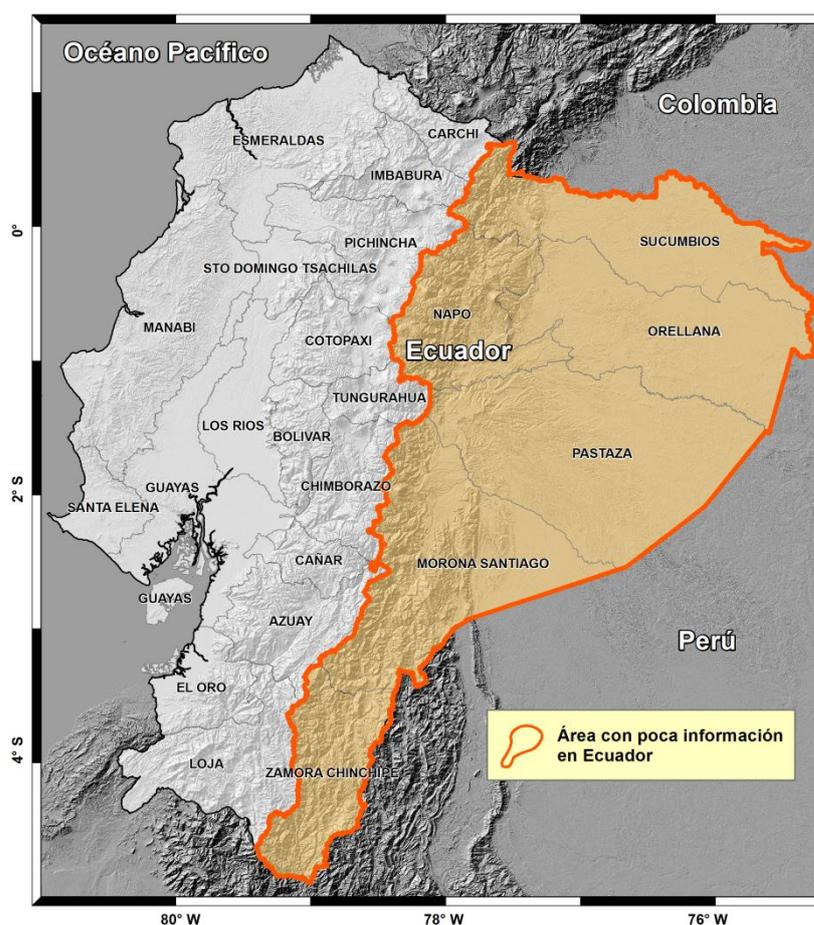


FIGURA 20 - LOCALIZACIÓN GENERAL DEL ÁREA SIN INFORMACIÓN EN ECUADOR CONTINENTAL

FUENTE: La autora (2014)

4.4 PROPUESTA DE PLANILLAS DE METADATOS

Para la generación de las plantillas de metadatos para los Conjuntos de Datos Geográficos (CDG), se tomó como referencia los principales metadatos para ser registrados, de la planilla padrón de metadatos para conjuntos de datos geográficos como muestra la Tabla 3. Además del Perfil de Metadatos de Ecuador (PEM) del Instituto Geográfico Militar – IGM (IGM, 2009; IGM, 2010) y el Perfil de Metadatos Geoespaciales de Brasil - Perfil MGB (CEMG/CONCAR, 2009), los cuales se basan en la Norma ISO 19115:2003 y en el LAMP. Se consideró el PEM por ser de Ecuador, el país caso de estudio y debido a que su estructura contiene metadatos nacionales complementares. Además se escogió el perfil de metadatos de Brasil, ya que es un

país con una amplia cantidad de datos debido a la extensión de su territorio, por lo cual tienen más diversidad de características de los datos. Otro punto importante para tomar como referencia estos perfiles es el trabajo, detalle, calidad y reconocimiento de estos. Se generó modelos de perfiles de metadatos que considerando los cuatro principales CDG. Estos pueden ser analizados, editados y aplicados por los países de SIRGAS, por lo tanto servirían para crear un perfil de metadatos:

- Red Geométrica de Referencia SIRGAS (RGeRS);
- *Datum* Vertical (DV);
- Red Vertical de Referencia (RVR);
- Red Gravimétrica (RG).

En las siguientes tablas se muestran los modelos de las plantillas de metadatos generadas, las cuales han sido divididas en Generales y Específicas. Cada Entidad / Elemento tiene una condición a cumplir para su registro: Obligatorio (**M**), Condicional (**C**) u Opcional (**O**).

Los metadatos Generales se encuentran en la Tabla 12, los cuales están de acuerdo a la Norma ISO 19115 (ver Sección 2.3.2.1) y a los perfiles de referencia como el PEM y el Perfil MGB. Para un mejor entendimiento, se buscó dar continuidad con la organización en forma de Secciones que se encuentran en los perfiles de referencia, considerando modificaciones de acuerdo a condiciones propias.

TABLA 12 - METADATOS GENERALES

SECCIÓN: IDENTIFICACIÓN CDG		
Metadatos	Entidad / Elemento	Condición
GENERALES	Título del Conjunto de Datos	M
	Fecha de referencia del conjunto de datos	M
	Idioma del dato	M
	Estado Actual	O
	Responsable	M
	Palabras clave para búsqueda	O
	Recurso en línea	O

Continúa

TABLA 12 - METADATOS GENERALES

Continuación

SECCIÓN: CARACTERÍSTICAS CDG		
Metadatos	Entidad / Elemento	Condición
GENERALES	Categoría del tema del conjunto de dato	M
	Descripción abstracta del conjunto de datos	M
	Información ampliada adicional para el conjunto de datos (vertical y temporal)	O
	Localización geográfica del conjunto de datos (por cuatro coordenadas o por identificador geográfico)	C
	Tipo de representación espacial	O
	Información tipo vector	C
	Información tipo ráster	C
	Mantenimiento/Actualización	O
Información suplementaria	O	
SECCIÓN: SISTEMA DE REFERENCIA		
Metadatos	Entidad / Elemento	Condición
GENERALES	Identificador del Sistema de Referencia	M
	Nombre del elipsoide de referencia	M
	Parámetros elipsoidales	O
	Punto <i>Datum</i> Vertical	M
	Tipo de Proyección	C
SECCIÓN: CALIDAD		
Metadatos	Entidad / Elemento	Condición
GENERALES	Linaje	O
	Metodología de levantamiento de datos	M
	Metodología de procesamiento de datos	M
	Metodología de compensación o ajuste de datos	M
	Calidad Cualitativa	O
	Calidad Cuantitativa	O
SECCIÓN: RESTRICCIÓN		
Metadatos	Entidad / Elemento	Condición
GENERALES	Restricción de acceso	M
	Restricción de uso	M
	Restricción de publicación	M
	Derecho de Autoría	M

Continúa

TABLA 12 - METADATOS GENERALES

<i>Conclusión</i>		
SECCIÓN: IDENTIFICACIÓN METADATO		
Metadatos	Entidad / Elemento	Condición
GENE-RALES	Fecha del metadato	M
	Responsable	M
	Punto de contacto del metadato	M
	Identificador del archivo de metadato	O
	Versión	O
	Idioma del metadato	C
	Restricción de uso del metadato	O
	Recurso en línea	O
SECCIÓN: DISTRIBUCIÓN		
Metadatos	Entidad / Elemento	Condición
GENERALES	Versión	O
	Responsable	M
	Punto de Contacto	M
	Formato de distribución	M

FUENTE: IGM (2010); CEMG/CONCAR (2009)

Para entender el vínculo entre los CDGs y los metadatos, se hace referencia a la Sección 4.2 del Diagrama de Clases desarrollado para la presente investigación.

Las Tablas 13, 14, 15 y 16, contienen los metadatos Específicos y fueron desarrolladas de acuerdo a las Secciones: 3.2.1, 3.2.2, 4.2 y 4.3.2. Cada Planilla de metadatos Específicos contiene la información que necesaria para registrar el CDG presentado, tal como se muestra a continuación:

TABLA 13 - PLANTILLA PARA RGeRS

RED GEOMÉTRICA DE REFERENCIA SIRGAS (RGeRS)		
SECCIÓN: CARACTERÍSTICAS CDG		
Metadatos	Entidad / Elemento	Condición
ESPECÍFICOS	Tipo de componente en el SVRS	O
	Tipo de datos geográficos relacionados	M
	Relación con otras combinación de datos	M
	Número de estaciones activas y pasivas SIRGAS 1995	M

Continúa

TABLA 13 - PLANTILLA PARA RGeRS

<i>Conclusión</i>		
RED GEOMÉTRICA DE REFERENCIA SIRGAS (RGeRS)		
SECCIÓN: CARACTERÍSTICAS CDG		
ESPECÍFICOS	Número de estaciones activas y pasivas SIRGAS 2000	M
	Número de estaciones activas y pasivas SIRGAS-CON	M
	Número total de puntos GPS/GNSS	M
	Número de puntos con combinación TIPO 7	C
	Número de puntos con combinación TIPO 8	C
	Número de puntos con combinación TIPO 10	C
	Número de puntos con combinación TIPO 11	C
	Número de puntos con combinación TIPO 12	C
	Número de puntos con combinación TIPO 13	C
	Número de puntos con combinación TIPO 14	C
	Informe de metodología empleada para el levantamiento, procesamiento y mantenimiento de los datos	M
	Avances en el levantamiento, procesamiento y mantenimiento de los datos	C
	Estrategias de solución	O

FUENTE: La autora (2014)

TABLA 14 - PLANTILLA DEL DV

DATUM VERTICAL (DV)		
SECCIÓN: CARACTERÍSTICAS CDG		
Metadatos	Entidad / Elemento	Condición
ESPECÍFICOS	Tipo de componente en el SVRS	O
	Tipo de datos geográficos relacionados	M
	Relación con otras combinación de datos	M
	Nombre(s) de mareógrafo(s)	M
	Año	M
	Periodo	M
	Número de puntos con combinación TIPO 15	C
	Número de puntos con combinación TIPO 16	C
	Número de puntos con combinación TIPO 17	C
	Número de puntos con combinación TIPO 18	C
	Número de puntos con combinación TIPO 19	C

Continúa

TABLA 14 - PLANTILLA DEL DV

<i>Conclusión</i>		
DATUM VERTICAL (DV)		
SECCIÓN: CARACTERÍSTICAS CDG		
ESPECÍFICOS	Informe de metodología empleada para el levantamiento, procesamiento y mantenimiento de los datos	M
	Avances en el levantamiento, procesamiento y mantenimiento de los datos	C
	Estrategias de solución	O

FUENTE: La autora (2014)

TABLA 15 - PLANTILLA DE LA RVR

RED VERTICAL DE REFERENCIA (RVR)		
SECCIÓN: CARACTERÍSTICAS CDG		
Metadatos	Entidad / Elemento	Condición
ESPECÍFICOS	Tipo de componente en el SVRS	O
	Tipo de datos geográficos relacionados	M
	Relación con otras combinación de datos	M
	Número de nodos	M
	Número de circuitos	M
	Informe ajuste o compensación de la red	C
	Informe sobre re ajuste de la red	C
	Número de puntos con combinación TIPO 1	C
	Número de puntos con combinación TIPO 2	C
	Número de puntos con combinación TIPO 3	C
	Número de puntos con combinación TIPO 4	C
	Número de puntos con combinación TIPO 5	C
	Número de puntos con combinación TIPO 6	C
	Número de puntos con combinación TIPO 9	C
	Número de puntos con combinación TIPO 11	C
	Número de puntos con combinación TIPO 12	C
	Número de puntos con combinación TIPO 14	C
	Número de puntos con combinación TIPO 15	C
	Número de puntos con combinación TIPO 19	C
	Número de puntos con combinación TIPO 20	C
Informe de metodología empleada para el levantamiento, procesamiento y mantenimiento de los datos	M	
Avances en el levantamiento, procesamiento y mantenimiento de los datos	C	
Estrategias de solución	O	

FUENTE: La autora (2014)

TABLA 16 - PLANILLA DE LA RG

RED GRAVIMÉTRICA (RG)		
SECCIÓN: CARACTERÍSTICAS CDG		
Metadatos	Entidad / Elemento	Condición
ESPECÍFICOS	Tipo de componente en el SVRS	O
	Tipo de datos geográficos relacionados	M
	Relación con otras combinación de datos	M
	Nombre del punto de origen	M
	Número de estaciones absolutas	M
	Número de estaciones relativas	M
	Número de nodos	M
	Número de circuitos	M
	Informe ajuste o compensación de la red	C
	Informe sobre re ajuste de la red	C
	Gravedad interpolada	C
	Gravedad por MGGs	C
	Número de puntos con combinación TIPO 4	C
	Número de puntos con combinación TIPO 5	C
	Número de puntos con combinación TIPO 6	C
	Número de puntos con combinación TIPO 7	C
	Número de puntos con combinación TIPO 8	C
	Número de puntos con combinación TIPO 10	C
	Número de puntos con combinación TIPO 11	C
	Número de puntos con combinación TIPO 13	C
	Número de puntos con combinación TIPO 14	C
	Número de puntos con combinación TIPO 18	C
	Número de puntos con combinación TIPO 19	C
	Número de puntos con combinación TIPO 22	C
	Informe de metodología empleada para el levantamiento, procesamiento y mantenimiento de los datos	M
Avances en el levantamiento, procesamiento y mantenimiento de los datos	C	
Estrategias de solución	O	

FUENTE: La autora (2014)

Considerar que para obtener la información de los Conjuntos de Datos Geográficos levantados en esta disertación, se deben tomar en cuenta al momento de aplicar estas planillas, el registro de los metadatos Generales y Específicos con sus condiciones.

Las planillas de los metadatos pueden ser modificadas dependiendo de las condiciones de cada CDG y por tanto, de cada país.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente inventario de las redes verticales basado en datos y metadatos tiene una conexión directa con el trabajo realizado por SIRGAS-GTIII. Se lo desarrolló considerando los términos de referencia de SIRGAS/IAG/GGOS como base para el análisis de la información técnico-científica recolectada, junto con normas y convenciones que permitieron un mejor manejo de los metadatos.

Se reitera que el estudio desarrollado es para procurar posibles alternativas de soluciones con base en la información nacional y global junto con la nueva visión de la Geodesia, para integrar datos geodésicos nacionales /regionales/globales para generar una única infraestructura global, atendiendo así, a los objetivos de GGOS.

5.1 CONCLUSIONES

- Se creó una propuesta de inventario de metadatos considerando normas y convenciones, que atiende primeramente al objetivo general de este trabajo, el cual es generar posibles estrategias de solución basados en los términos de referencia de SIRGAS/IAG/GGOS. Estas estrategias podrían considerar los problemas que se presentan en la homogenización de datos nacionales, conexiones entre países e integración de las redes verticales sudamericanas. Por otra parte, gracias a la propuesta de trabajar con metadatos, se afianzó la necesidad de crear una IDE para SIRGAS, anticipando la homogenización de los datos y su almacenamiento, considerando así los objetivos de UN-GGIM Américas. Por tanto se puede concluir que esta disertación tiene una contribución en el campo de la Geodesia y del manejo de Datos Geoespaciales, la cual se torna relevante y podría ser considerada por los países miembros de SIRGAS;
- Con la información técnica - científica recopilada, se pudo realizar un estudio de forma muy general de cómo fueron establecidas las redes verticales de los países miembros de SIRGAS, con lo cual se analizó las condiciones propias y similares entre países y se decidió cuáles serían los Datos Geográficos que servirían en el estudio;

- Con este estudio también se detectó y confirmó aspectos críticos respecto a las definiciones de las Redes Verticales de Referencia Nacionales (RVRNs), generando estrategias Nacionales y Continentales. Se concluye la importancia en el cálculo de números geopotenciales en cada país, considerando ajuste de las redes verticales y gravimétricas (forma convencional) y aplicando el PVCG en su forma fija para la determinación del potencial perturbador a través del disturbio de la gravedad (forma moderna). Se considera también la determinación de las diferencias del geopotencial para el enlace entre países, independientemente del origen de las redes;
- Se desarrolló una metodología basada en análisis generales y específicos de los SVRNs y sus materializaciones a través de las RVRNs. Por otra parte se estudió las convenciones globales sobre los Sistemas Verticales de Referencia. Se podría concluir que se puede definir los lineamientos del Sistema Vertical de Referencia SIRGAS (SVRS) con estas bases (nacionales y globales) y con un extenso trabajo en equipo. Para llegar al establecer este sistema vertical, es indispensable continuar y contribuir con los trabajos que viene desarrollando SIRGAS a través de los representantes de sus países miembros, específicamente proyectos nacionales y de convenio. Para dar continuidad con estas investigaciones, es totalmente necesario que la información usada sea catalogada, estandarizada y organizada. De ahí viene la importancia de la homogenización de datos y metadatos;
- Con la aplicación de la metodología desarrollada en Ecuador como caso de estudio, se pudo realizar un análisis específico de los Datos Geográficos y Tipos de Combinación de Datos levantados;
- Con esto, se generó el inventario de metadatos del Ecuador, el cual contiene características relevantes de los datos geodésicos descritos en la información técnica-científica utilizada en el estudio, con el fin de definir cada Dato Geográfico. Esto conlleva también a la generación de estrategias de solución ante los problemas nacionales, presentados a partir de la Tabla 6. Se asoció tanto los análisis de los datos como de sus metadatos para generar los siguientes CDG: Red Geométrica de Referencia SIRGAS-Ecuador; *Datum* Vertical del Ecuador (DVE); Red Vertical de Referencia del Ecuador (RVRE); Red Gravimétrica del Ecuador (RGE); Puntos de conexión del Ecuador y Área sin información. Además fueron seleccionados los principales registros de metadatos para crear las propuestas de

las plantillas. De los 11 Datos Geográficos, únicamente se generó cuatro plantillas, ya que algunos de estos se fusionaron (por ejemplo: Estación SIRGAS 1995, Punto GPS/GNSS) y otros no se encuentran totalmente definidos (Área sin Información, Otros);

- El uso de fuentes modernas para la obtención de datos espaciales, basados en sistemas de levantamiento por satélite, son consideradas esenciales para enfrentar la poca disponibilidad de datos en algunas áreas inaccesibles del territorio de los países de SIRGAS;
- El esfuerzo y protagonismo de cada país para generar información confiable y precisa, adecuada para el desarrollo de estrategias confiables para sus condiciones específicas, es fundamental para la alcanzar todos los objetivos planteados por SIRGAS.

5.2 RECOMENDACIONES

- Un estudio semejante puede ser realizado por los demás países de SIRGAS, el cual aportará con mayor comprensión referente a las heterogeneidades de sus datos, directamente relacionadas con sus RVRNs. De esta forma se considera la nueva visión de SIRGAS-GTIII para conseguir la integración de las RVRNs y el establecimiento de una única Red Vertical de Referencia SIRGAS (RVRS);
- Se recomienda continuar con la visión de estandarizar y homogenizar los datos levantados y procesados, por tanto podría ser necesario la actualización de la Base de Datos de SIRGAS, una vez que la información de los países pertenecientes a SIRGAS también este estandarizada;
- Una aplicación futura es la creación de herramientas informáticas para el manejo, almacenamiento y visualización de los datos y metadatos de SIRGAS. Sería interesante que sean creadas con Software Libre, lo cual se alinea con algunas políticas de manejo de geoinformación de algunos países;
- Analizar perfiles de metadatos de los otros países para complementar metadatos en común.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARTHELMES, F.; KÖHLER, W. **ICGEM – status of the IAG service for global Earth gravity field models after the first decade**. Asamblea IAG, 2013.
- BEUTLER, G.; DREWES, H.; REIGBER, C.; RUMMEL, R. **Proposal to Establish the Integrated Global Geodetic Observing System (IGGOS)**. February 28, 2003
- BERNABÉ, M.; LÓPEZ, C. **Fundamentos de las Infraestructuras de Datos Espaciales**. Serie Científica UPM, editado y publicado por UPM Press, 1ª edición, año 2012.
- BROVAR, V. **A possible improvement in the accuracy of gravimetric results in Geodesy**. Sov. Astron. 15 (1972), 1055–1058.
- BRUNINI, C.; SÁNCHEZ, L. **Reporte 2007-2008. Boletín Informativo N°13. Sistema Vertical de Referencia – SIRGAS**. Reunión SIRGAS 2008 y 2do Taller del Grupo de Trabajo I Servicio Geográfico Nacional, Montevideo, Uruguay 26 al 29 de mayo de 2008.
- BRUNINI, C.; SÁNCHEZ, L.; LUZ, R. **SC1.3b-WG3 (Vertical Datum)**. Report of the International Association of Geodesy 2007-2011 - Travaux de l'Association Internationale de Géodésie 2007-2011, 2010.
- BRUNINI, C.; SÁNCHEZ, L.; MACKERN, V.; MARTÍNEZ, W.; DE FREITAS, S. **Reflexiones para el avance continuado de SIRGAS**. Reunión SIRGAS2013 Panamá, 2013.
- CISNEROS, D.; NOCQUET, J. **Campo de Velocidad del Ecuador – VEC_Ec obtenido a través de medidas GPS de los últimos 15 años**. Boletín Informativo SIRGAS N° 17, 2012.
- CEMG-CONCAR (Comissão Nacional de Cartografia, Comitê de Estruturação de Metadados Geoespaciais). **Perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil (Perfil MGB)**, Conteúdo de Metadados Geoespaciais em conformidade com a norma ISO 19115:2003. Versão Homologada, 2009.
- COYAGO, R. **Ajuste de la Red de Control Básico Vertical en Función De Números Geopotenciales**. ESPE – Ecuador, 2010.
- DE FREITAS, S.; BLITZKOW, D. **Altitudes e Geopotencial**. IGes Bulletin (Special Issue for South America), vol. 9, 1999.
- DE FREITAS, S.; SANTOS JUNIOR, G.; FAGGION, P.L.; GEMAEL, C.; SILVA JUNIOR, J.; SIMÕES, K. **Concepção dos levantamentos gravimétricos para o estabelecimento de Rede Gravimétrica de alta precisão no Estado do Paraná**. Série em Ciências Geodésicas, Vol. 2, Universidades Federal do Paraná, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Curitiba, 2002.
- DE FREITAS, S.; MEDINA, A.; LIMA, S. **Associated problems to link South American Vertical Networks and possible approaches to face them**. In: Drewes, H.; Dodson, A. H.; Fortes, L. P. S.; Sánchez, L.; Sandoval, P. (Ed.). Vertical Reference Systems. IAG Symposium 124, Cartagena, Colômbia. Berlin:Springer-Verlag, p. 318-323, 2002.
- DE FREITAS, S.; FERREIRA, V.; PALMEIRO, A.; DALAZOANA, R.; LUZ, R.; FAGGION, L. **Modelagem do potencial anômalo no Datum Vertical Brasileiro visando sua nova definição**. Boletim de Ciências Geodésicas. Vol. 13, nº 2, p. 395-419. Jul-dez, 2007.

DE FREITAS, S. **Mini Curso em Sistemas Altimétricos Modernos, Tema 1: Introdução à Teoria do Potencial e o Problema do Valor de Contorno da Geodésia (PVCG)**. Instituto Geográfico Militar de Ecuador, 2013.

DE FREITAS, S. **Mini Curso em Sistemas Altimétricos Modernos, Tema 2: Geopotencial e Gravimetria**. Instituto Geográfico Militar de Ecuador, 2013.

DE FREITAS, S. **Correspondencia para el Comité Ejecutivo de SIRGAS**. Noviembre de 2013.

DE FREITAS, S. **Correspondencia para los representantes de las Secciones Nacionales del IPGH**. Marzo, 2014.

DREWES, H.; SÁNCHEZ, L.; BLITZKOW, D.; FREITAS, S. **Scientific foundations of the SIRGAS vertical reference system**. In: Drewes et al. Eds. IAG Symposia 124: Pp. 297-301, Springer, 2002.

ESA (European Space Agency). **ESA's GOCE Mission to end this year**. Disponible en: <http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/GOCE/ESA_s_GOCE_mission_to_end_this_year>. Acceso em: 2014.

FERREIRA, V. G.; DE FREITAS, S.; HECK, B. **Determinação da diferença de geopotencial do Datum Vertical Brasileiro relativa ao Earth Gravity Model 2008**. Revista Brasileira de Cartografia N° 62/03, 2010. (ISSN 0560-4613), 2010.

FERREIRA, V. G.; DE FREITAS, S.; HECK, B. **A separação entre o Geoide e o Quase Geoide: Uma análise no contexto Brasileiro**. Revista Brasileira de Cartografia N° 63 Edição Especial 40 Anos, 2011.

FERREIRA, V. G.; DE FREITAS, S. **Geopotential numbers from GPS satellite surveying and disturbing potential model: a case study of Parana, Brazil**. Journal of Applied Geodesy, 2011.

FERREIRA, V. G. **Solução do tipo Brovar para o segundo problema de valor de contorno da geodésia com vistas à modernização de sistemas de altitudes**. Tese de doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, Curitiba, 2011.

FERREIRA, V. G.; DE FREITAS, S. **An Attempt to link the Brazilian Height System to a World Height System**. Boletim de Ciências Geodésicas. Vol. 18, nº 3, p.363-377, jul-set, 2012.

FERREIRA, V. G.; ZHANG, Y.; DE FREITAS, S. **Validation of GOCE gravity field models using GPS-leveling data and EGM08 - a case study in Brazil**. Journal of Geodetic Science, 2013.

FERREIRA, V. G.; DE FREITAS, S.; HECK, B. **Analysis of the discrepancy between the Brazilian vertical reference frame and GOCE-based geopotential models**. International Association of Geodesy Symposia, 2014.

GATTI, A.; REGUZZONI, M.; VENUTI, G. **The height datum problem and the role of satellite gravity models**. Springer-Verlag, 2012.

GEMAEL, C. **Introdução à Geodésia Geométrica, segunda parte**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1988.

GEMAEL, C. **Introdução à Geodésia Física**. Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1999, reimpressão em 2002.

GEMAEL, C.; DE FREITAS, S.; FAGGION, P.L.; SILVA JUNIOR, J.; SIMÕES, K. **Rede Gravimétrica Científica para o Estado do Paraná**. Anais do Simpósio Brasileiro de Geomática, Presidente Prudente – SP, 9-13 de julho de 2002.

GERLACH, C.; RUMMEL, R. **Global height system unification with GOCE: a simulation study on the indirect bias term in the GBVP approach**. Journal of Geodesy; Springer, 2012.

GGOS (*Global Geodetic Observing System*). **Vision, Mission, Goals and Tasks of the Global Geodetic Observing System (GGOS)**. Adopted by the Global Geodetic Observing System Steering Committee at its 21st Meeting at the IUGG XXV General Assembly, Melbourne, Australia, July 2, 2011.

GGOS (*Global Geodetic Observing System*). **The Goals and Tasks of the Global Geodetic Observing System (GGOS)**. Disponible en: <<http://192.106.234.28/HOME/Objectives.html>>. Acceso en: 2014.

GOCE + HSU (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer + Height System Unification). **GOCE + HSU with GOCE**. Disponible en: <<http://www.goceplushsu.eu/gpweb/gc-cont.php?p=3>>. Acceso en: 2014.

GOMEZ M.; FERREIRA V.G; PEREIRA R.; DEL COGLIANO D.; LUZ R.; DE FREITAS S.; FARIAS C.; PERDOMO R.; TOCHO C.; LAUIRIA E; CIMBARO S. **Analysis of the discrepancies between the vertical reference frames of Argentina and Brazil**. International Association of Geodesy Symposia, 2014.

GSDI (Global Spatial Data Infrastructure Association). **Global Spatial Data Infrastructure conference findings and resolutions**. Chapel Hill, North Carolina, 1997. Disponible en: <http://www.gsdi.org/docs1997/97_gsdi97r.html>. Acceso en: 2014.

HECK, B. **A Brovar-type Solution of the fixed Geodetic Boundary Value Problem**. Studia Geophysica et Geodaetica. v. 55, Issue 3, p. 441-454, July 2011.

HOFMANN-WELLENHOF, B., MORITZ, H. **Physical Geodesy**. Springer Wien New York, 2005.

IAG (International Association of Geodesy). **IAG History**. Disponible en: < <http://www.iag-aig.org/index.php>>. Acceso en: 2014.

IAG (International Association of Geodesy). **The Structure of IAG (2011-2015)**. Disponible en: <http://www.iag-aig.org/index.php?tpl=text&id_c=12&id_t=516>. Acceso en: 2014.

IAG (International Association of Geodesy). **IAG Commission 1: Objectives**. Disponible en: < http://www.iag-aig.org/index.php?tpl=text&id_c=7&id_t=552>. Acceso en: 2014.

IAG (International Association of Geodesy). **IAG Commission 2: Gravity Field (2011-2015), Terms of Reference and Objectives**. Disponible en: <<http://www.iag-commission2.ch/ToR.htm>>. Acceso en: 2014.

ICGEM (International Centre for Global Earth Models). **ICGEM**. Disponible em: <<http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/>>. Acessado em 2014.

IDEE (Infraestructura de Datos Espaciales de España). **Definición de IDE**. Disponible en: <<http://www.idee.es/web/guest/introduccion-a-las-ide>>. Acceso en: 2015.

IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), IPGH (Instituto Panamericano de Geografía e Historia). **Perfil Latinoamericano de Metadatos Geográficos – LAMP**, Abril, 2011.

IGIK (Institute of Geodesy and Cartography). **System IGSN71**. Disponible en: <<http://www.igik.edu.pl/pl/geodezja-i-geodynamika-igsn>>. Acceso en 2014.

IGM (Instituto Geográfico Militar del Ecuador). Instructivo **Técnico para la Generación de Metadatos del Instituto Geográfico Militar**. IGM-Ecuador, 2009

IGM (Instituto Geográfico Militar del Ecuador). **Perfil Ecuatoriano de Metadatos – PEM**, según Norma ISO 19115:2003 e ISO19115-2:2009, 2010.

IGM (Instituto Geográfico Militar del Ecuador). **Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador – REGME**. Disponible en: <http://www.geoportaligm.gob.ec/wordpress/>>. Acceso en 2014.

IHDE, J.; Matt Amos, Bernhard Heck, Bill Kersley, Tilo Schöne, Laura Sánchez, Hermann Drewes. **Conventions for the Definition and Realization of a Conventional Vertical Reference System (CVRS)**, 2007.

IHDE, J. **IAG-ICP 1.2. Inter-Commission Project 1.2: Vertical Reference Frames**. Report of the International Association of Geodesy (2007-2011), June 15, 2007.

IHDE, J.; SÁNCHEZ, L. **A unified global height reference system as a basis for IGGOS**. J. Geodynamics 40(4-5):400413, DOI 10.1016/j.jog.2005.06.015, 2005

IHDE, J.; SIDERIS, M.; SÁNCHEZ, L. **Concepts for the Realization of a World Height System – Theme 1 of the Global Geodetic Observing System (GGOS)**. REFAG, 2010.

IHDE, J. **Pilot Project Realization of a World Height System (WHS)**. Draft Pilot Project IAG ICP1.2 V12_2010-07-05, IAG Inter-Commission Project 1.2 Vertical Reference Frames. Chair of IAG ICP 1.2, 2010.

IHDE, J.; SIDERIS, M. **Action Plans 2011 - 2015 for the GGOS-Theme 1: Unified Global Height System**. Global Geodetic Observing System - GGOS 2020, 2011.

IPGH (Instituto Panamericano de Geografía e Historia). **19 Asamblea General del IPGH**, “Agenda 2010-2020: hacia la innovación y la relevancia científica regional del IPGH”. Quito, Ecuador 28-30 de octubre de 2009.

IPGH (Instituto Panamericano de Geografía e Historia). **Guía De Normas**, Edición en español, Comité ISO/TC211 Información Geográfica/Geomática, Grupo Consultivo de Desarrollo, Ex Arzobispado 29, Colonia Observatorio, 11860 México, D.F., 2010.

IPGH, SIRGAS, CP-IDEA, GeoSUR, **Plan de Acción Conjunto 2013-2015 para acelerar el desarrollo de la Infraestructura de Datos Espaciales de las Américas**. IPGH, México, D.F., 2013”.

ISO 19505-1: 2012. **Information technology – Object Management Group Unified Modeling Language (OMG UML)**, 2012.

ISO/TC 211 (International Organization for Standardization. Geographic information/Geomatics. 2003). **About ISO/TC 211**. Disponible en : <<http://www.isotc211.org>> . Acceso en: 2014.

IUGG (*International Union of Geodesy and Geophysics*). **International Association of Geodesy (IAG)**. Disponible en: <<http://www.iugg.org/associations/iag.php>>. Acceso en: 2014.

JAMUR, K.; DE FREITAS, S. **Estudo Comparativo dos Modelos Gravimétricos Globais Eigen-gl04c, Eigen-cg03c e Eigen-05c Utilizando um Modelo Regional e Dados Gps/Niv Para o Estado do Paraná**. Dissertação de mestrado, Universidad Federal de Paraná. Curitiba, 2009.

JWG 0.1.1-VDS (Joint Working Group 0.1.1: Vertical Datum Standardisation). **Vertical Datum Standardisation**. Disponible en: <<http://whs.dgfi.badw.de/index.php?id=1>> Acceso en: 2014.

KUTTERER H.; NEILAN R.; BIANCO G. **Global Geodetic Observing System (GGOS)**. In: Drewes H., H. Hornik, J. Ádám, S. Rózsa (Eds. 2012). *The geodesist's handbook 2012*. J Geod 86 (10): 915-926. DOI - 10.1007/s00190-012-0584-1, 2012.

LIEBSCH, G.; IHDE, J, **WI4, World Height System - Pilot Project (WHS-PP)**. Draft Pilot Project IAG ICP1.2 V12_2010-07-05, IAG Inter-Commission Project 1.2 Vertical Reference Frames. Chair of IAG ICP 1.2, 2010.

LUZ, R. **Estratégias para modernização da componente vertical do Sistema Geodésico Brasileiro e sua integração ao SIRGAS**. Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

LUZ, R.; PEREIRA N. **Revisão dos procedimentos para preparação e envio de dados ao GT-III com vistas à realização do sistema vertical SIRGAS**. Reunión SIRGAS2012, Octubre de 2012.

LUZ, R.; FORTES, L.; HOYER, M.; DREWES, H. **The vertical reference frame for the Americas - The SIRGAS 2000 GPS campaign**. Springer; IAG Symposia; Vol. 124: 302-305, 2002.

MARTI, U. **WI3, World Height System - Pilot Project (WHS-PP)**. Draft Pilot Project IAG ICP1.2 V12_2010-07-05, IAG Inter-Commission Project 1.2 Vertical Reference Frames. Chair of IAG ICP 1.2, 2010.

McCARTHY, D.D.; PETIT, G. **IERS Technical Note No. 32: IERS Conventions (2003)**. Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie. Frankfurt am Main, 2004.

MONTECINO, H. **Proposta de Alternativas para conexão dos Data Verticais Brasileiros de Imbituba e Santana**. Dissertação de mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, Curitiba, 2011.

MONTECINO, H. **A study of the Chilean Vertical Network through global geopotential models and the CNES CLS 2011 global mean sea surface**. BCG - Boletim de Ciências Geodésicas - On-Line version, ISSN 1982-2170, 2014.

MOREIRA, R. **Conexão de Redes Altimétricas Locais ao Sistema Geodésico Brasileiro com Base em Sistema Global De Altitudes**. Mestrado em andamento. Universidade Federal do Paraná.

NOAA (The National Oceanic and Atmospheric Administration). **Gravity Datums**. Disponible en: <http://celebrating200years.noaa.gov/foundations/gravity_surveys/side.html>. Acceso en: 2014.

OGC (Open Geospatial Consortium). **OGC Standards and Supporting Documents**. Disponible en: <<http://www.opengeospatial.org/standards>>. Acceso en: 2014.

PALMEIRO, A.; DE FREITAS, S.; DALAZOANA, R. **Análise do Vínculo do Datum Vertical Brasileiro a um Sistema Global de Altitudes**. Revista Brasileira de Cartografia N0 65/6, 2013.

PAREDES, N. **Determinación del Datum Vertical en la Libertad**, Acta Oceanográfica de Pacífico, INOCAR. Ecuador, 1986.

PEREIRA, R.A.D. **Conexão das Redes Verticais fundamentais do Brasil e da Argentina com base em Números Geopotenciais**. Dissertação de mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, Curitiba, 2009.

PLAG, H.-P.; PEARLMAN, M. **Introduction of GGOS**. Global Geodetic Observing System - GGOS 2020 Book. Springer, 2009.

RANGELOVA, E.; SIDERIS, M. **The North American Vertical Reference System – NAVRS**. University of Calgary, STSE-GOCE+ Heights System Unification, Workshop, 30.09 - 01.10, 2013.

RULKE, A.; LIEBSCH, G.; SHAFER, U.; SCHIRMER, U.; IHDE, J; **Chapter 19: Height System Unification Based on GOCE Gravity Field Models: Benefits and Challenges**. Observation of the System Earth from Space – CHAMP, GRACE, GOCE and Future Missions, Springer, 2014.

RUMMEL, R.; DREWES, H.; BEUTLER, G. **Integrated Global Geodetic Observing System (IGGOS): A Candidate IAG Project**; in: Adam, J.; Schwarz, K.-P. (eds.) *Vistas for Geodesy in the New Millennium*, IAG Symposia, Vol. 125, pp 609-614 , Springer, ISBN (Print) 978-3-540-43454-2, 2002.

RUMMEL, R.; GRUBER, T.; IHDE, J.; LIEBSCH , G.; RÜLKE, A.; SCHÄFER, U.; SIDERIS, M.; RANGELOVA, E.; WOODWORTH, P.; WOODWORTH, C. **STSE – GOCE+ Height System Unification with GOCE**. February 24, 2014.

SÁNCHEZ, L. **Determinación de Alturas Físicas En Colombia**, 2002.

SÁNCHEZ, L. **Propuesta de Bases de Datos de las Redes Verticales Suramericanas (1998)**. Boletín Informativo N° 6 de SIRGAS, Febrero de 2002.

SÁNCHEZ, L.; IHDE, J. **A unified global height reference system as a basis for IGGOS**. Journal of Geodynamics, 2005.

SÁNCHEZ, L. **Hacia un sistema vertical de referencia unificado para América del Sur, SIRGAS-GTIII: Datum Vertical**. Comisión Cartográfica IPGH, Caracas, 2005.

SÁNCHEZ, L. **Reporte 2005**. Grupo de Trabajo III: Datum Vertical SIRGAS – GTIII, Caracas, noviembre 17 y 18 de 2005.

SÁNCHEZ, L. **Modernización de los sistemas de alturas existentes en América Latina y El Caribe**. SIRGAS Workshop, Heredia, Costa Rica, 27 y 28 de noviembre de 2006.

SÁNCHEZ, L.; **Strategy to Establish a Global Vertical Reference System**, Geodetic Reference Frames, Springer, 2009.

SÁNCHEZ, L. **WI1, World Height System - Pilot Project (WHS-PP)**. Draft Pilot Project IAG ICP1.2 V12_2010-07-05, IAG Inter-Commission Project 1.2 Vertical Reference Frames, Chair of IAG ICP 1.2, 2010.

SÁNCHEZ L.; R. LUZ. **Requerimientos para la unificación de los sistemas de alturas existentes en la Región SIRGAS**. Presentado en la Reunión SIRGAS2011, Heredia, Costa Rica, agosto 8 -10, 2011.

SÁNCHEZ, L. **Towards a vertical datum standardisation under the umbrella of Global Geodetic Observing System**. Journal of Geodetic Science, 2013.

SANTOS JUNIOR, G. **Rede gravimétrica: novas perspectivas de ajustamento, análise de qualidade e integração de dados gravimétricos**. Tese de doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005

SANTOS JUNIOR, G.; DE FREITAS, S.; GEMAEL, C.; FAGGION, P.L. **Internal and external reability in the Paraná Scientific Gravity Network**. Revista de Geofísica N ° 59 del IPGH. Julio-diciembre de 2003.

SCHÖNE, T. **WI2, World Height System - Pilot Project (WHS-PP)**. Draft Pilot Project IAG ICP1.2 V12_2010-07-05, IAG Inter-Commission Project 1.2 Vertical Reference Frames. Chair of IAG ICP 1.2, 2010.

SIDERIS, M. **Introduction**. Global Geodetic Observing System - GGOS 2020 Book. Springer, 2009.

SIDERIS, M.; IHDE, J. **GGOS Theme 1: Unified Global Height System**. Report of the International Association of Geodesy 2007-2011 — Travaux de l'Association Internationale de Géodésie 2007-2011. 2010.

SIRGAS-GTIII. **Workshop: Redes Altimétricas**. IBGE, Rio de Janeiro, diciembre de 2012.

SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas). **Definición de SIRGAS**. Disponible en: <<http://www.sirgas.org/index.php?id=52>>. Acceso en 2013.

SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas). **SIRGAS-GTIII (Datum vertical)**. Disponible en: <<http://www.sirgas.org/index.php?id=60>>. Acceso en 2013.

SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas). **Realización de la componente física**. Disponible en: <<http://www.sirgas.org/index.php?id=75>>. Acceso en 2014.

SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas). **Centro de datos y de análisis del SIRGAS-GTIII**. Disponible en: <<http://www.sirgas.org/index.php?id=94>>. Acceso en 2014.

SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas). **Unificación de los sistemas de alturas existentes**. Disponible en: <<http://www.sirgas.org/index.php?id=75>>. Acceso en 2014.

SMITH, D.; SHIELDS, R. **Preparing to Replace the Official Horizontal and Vertical Datums in the United States**. Eos, Vol. 91, No. 37, 14 September 2010.

TIERRA, A. **Metodologia para a Geração de Grid de Anomalias Gravimétricas para obtenção de Geoide Gravimétrico Local a partir de dados esparsos**. Tese de doutorado, UFPR, Curitiba, Brasil, 2003.

TORGE, W. **Large Scale Absolute Gravity Control in South America — JILAG-3 Campaigns 1988-1991**, 1994.

TORGE, W. **Geodesy**. Third completely revised and extended ed. Berlin; New York: Walter de Gruyter, 2001.

UML (Unified Modeling Language). **Introduction To OMG's Unified Modeling Language (UML)**. Disponible en: <http://www.omg.org/gettingstarted/what_is_uml.htm, 2014>. Acceso en: 2015

UN-GGIM Américas, 2014. **Acerca de UN-GGIM Américas**. Disponible en <<http://www.cp-idea.org/index.php/un-ggim-americas/acerca-de-un-ggim-americas>>. Acceso en: 2014

VANICEK, P.; KRAKIWSKY E. **Geodesy: The Concepts**. Second edition, 1986.

WILMES, H.; WZIONTEK, H.; FALK, R.; IHDE, J.; BONVALOT, S.; FORSBERG, R.; KENYON, S.; VITUSHKIN L. **Establishment of a Global Absolute Gravity Network**. FEDERAL AGENCY FOR CARTOGRAPHY AND GEODESY, 2010 TG-SMM-2010 – St. Petersburg, Russia, Jun 28, 2010.

WILMES, H. JWG 2.2: Absolute Gravimetry and Absolute Gravity Reference System. Disponible en: <<http://www.iag-commission2.ch/WG22.pdf>>. Acceso en: 2015.

DOCUMENTOS CONSULTADOS

Boletín Informativo SIRGAS N°5. Febrero, 1998. Disponible en: <http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/bol_005.pdf> .Acceso en 2014.

Boletín Informativo SIRGAS N°6. Febrero, 2002. Disponible en: <http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/bol_006.pdf> .Acceso en 2014.

Boletín Informativo SIRGAS N°7. Diciembre, 2002. Disponible en: <http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/bol_007.pdf> .

Boletín Informativo SIRGAS N°8. Febrero, 2005. Disponible en: <<http://www.sirgas.org/index.php?id=100>> .Acceso en 2014.

Boletín Informativo SIRGAS N°9. Abril, 2006. Disponible en: <<http://www.sirgas.org/index.php?id=101>> . Acceso en 2014.

Boletín Informativo SIRGAS N°10. Octubre, 2006. Disponible en: <<http://www.sirgas.org/index.php?id=102>> . Acceso en 2014.

Boletín Informativo SIRGAS N°11. Diciembre, 2006. Disponible en: <<http://www.sirgas.org/index.php?id=103>> . Acceso en 2014.

Boletín Informativo SIRGAS N°12. Agosto, 2007. Disponible en: <http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Boletin_SIRGAS_12.pdf> . Acceso en 2014.

Boletín Informativo SIRGAS N°13. Reporte 2007 - 2008. Agosto, 2008. Disponible en:<http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Boletin_SIRGAS_N0._13_Reporte_2007-2008.pdf> . Acceso en 2014.

Boletín Informativo SIRGAS N°14. Reporte 2008-2009. Octubre, 2009. Disponible en:<http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Boletin_SIRGAS_14_Oct_2009.pdf> . Acceso en 2014.

Boletín Informativo SIRGAS N°15. Reporte 2009-2010. Diciembre, 2010. Disponible en: <http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Boletin_15_de_SIRGAS_Dic_2010.pdf >. Acceso en 2014.

Boletín Informativo SIRGAS N°16. Reporte 2010-2011. Octubre, 2011. Disponible en: <http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Boletin_SIRGAS_No_16.pdf >. Acceso en 2014.

Boletín Informativo SIRGAS N°17. Reporte 2011-2012. Diciembre, 2012. Disponible en: <http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Boletin_SIRGAS_No_17.pdf >. Acceso en 2014.

Boletín Informativo SIRGAS N°18. Reporte 2012-2013. Diciembre, 2013. Disponible en: <http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Boletin_SIRGAS_No_18.pdf >. Acceso en 2014.

APÉNDICES

APÉNDICE 1. Resumen extendido de la disertación en portugués	118
APÉNDICE 2. Diagrama de Clases.....	132

INTEGRAÇÃO DAS REDES VERTICAIS SUL - AMERICANAS: INVENTÁRIO EM VISTA DOS TERMOS DE REFERÊNCIA DO SIRGAS/IAG/GGOS.

*Integration of Vertical Networks in South-America: Inventory with basis in the
SIRGAS/IAG/GGOS reference standards*

**Andrea Galudht Santacruz Jaramillo
Sílvio Rogério Correia de Freitas
Silvana Philippi Camboim**

Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências da Terra - Departamento de Geomática,
Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
R. Cel. Francisco Heráclito dos Santos, 210, Jardim das Américas, Curitiba - PR, Brasil - 81531-970
andreasantacruzj@gmail.com
sfreitas@ufpr.br
silvanacamboim@ufpr.br

RESUMO

Na atualidade, as atividades centrais da Geodesia têm sido dirigidas em apoio à formação de Infraestruturas de Dados Espaciais (IDE) voltadas para sistemas de observação da Terra. Tal é o foco do *Global Geodetic Observing System* (GGOS) suportado pela *International Association of Geodesy* (IAG). O Nível 1 do GGOS se refere à infraestrutura geodésica terrestre, a qual está formada pelas redes geodésicas de referência terrestres materializadas, estações de monitoramento contínuo, missões dedicadas, centro de dados e de análises. Diversos processos de monitoramento planetário, no contexto do GGOS, apresentam exigências de precisão relativa no referenciamento global que podem atingir a uma parte por bilhão (1ppb). Tal é o caso dos Sistemas Verticais de Referência (SVR) e suas materializações regionais e globais. Os SVRs assumiram papel preponderante, cumprindo com suas funções usuais em caráter regional e nacional, e sendo o fundamento para o monitoramento de processos físicos associados a mudanças no Sistema Terra. Desta forma foi estabelecida uma exigência implícita de caráter físico às Redes Verticais de Referência Nacionais (RVRN) além de suas integrações a um Sistema Vertical de Referência Global (SVRG). O Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), respeito com seu Grupo de Trabalho III (SIRGAS-GTIII), procura atender às exigências do IAG/GGOS. Busca o desenvolvimento de atividades voltadas à modernização das RVRNs na América do Sul, Central e Caribe com a atribuição de significado físico às altitudes em cada país com base em números geopotenciais e promovendo suas integrações a um SVRG, consideradas suas heterogeneidades. O SIRGAS-GTIII tem estabelecido diretrizes, metodologias e termos de referência para o cumprimento destas tarefas que são discutidos neste trabalho. De forma central são propostas ações fundamentais para a modernização das RVRN no contexto do SIRGAS-GTIII. Também se considerou as normas da *International Organization for Standardization*, especificamente a ISO 19115 da ISO/TC 211 (Informação Geográfica/Geomática) para o uso e administração de dados espaciais e metadados. Com essas bases desenvolveu-se a metodologia do inventário das redes verticais baseadas em metadados, de acordo com os preceitos mais atuais, para o contexto do SIRGAS-GTIII na América do Sul, apontando com a futura criação de uma IDE para as Américas, segundo os objetivos de UN-GGIM Américas. Um estudo de caso relativo à RVRN do Equador é apresentado.

Palavras chaves: Sistemas e Redes Verticais de Referência Nacionais e Global; Inventário; IDE; SIRGAS; GGOS.

ABSTRACT

Nowadays, the central activities in Geodesy are directed for supporting the constitution of spatial data infrastructure (SDI) directed for Earth observing systems. This is the central purpose of the Global Geodetic Observing System (GGOS) supported by the International Association of Geodesy (IAG). In the GGOS Level 1 is the geodetic terrestrial

infrastructure formed by the realized terrestrial geodetic reference frames, continuous monitoring stations, dedicated spatial missions, data centers and analysis centers. Several planetary monitoring process in the GGOS context present relative precision requirements on the spatial referencing tasks in the order of one part per billion (1ppb). This is the case of the Vertical Reference Systems (VRS) definitions and their regional and global materializations in frames. The VRSs became fundamental for monitoring the physical process related to the changes in Earth's System, mainly because masses redistribution. This fact imposes an implicit exigency related to physical aspects linked to the National Vertical Reference Networks (NVRN) and the implicit need for integrating them to a Global Vertical Reference System (GVRS). The SIRGAS project (*Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas*) in the context of its Working Group III (SIRGAS-WGIII) aims to accomplish the statements of IAG/GGOS. The tasks are directed for developing activities in the sense for modernizing NVRNs in South and Central Americas as well as Caribbean region by attributing physical meaning for heights. For this, the basis is centered in geopotential numbers and promoting their integration with a GVRS considering their heterogeneities. The SIRGAS-WGIII has established procedures, strategies and reference thermos for accomplishing the referred tasks which are discussed in this work. As central subjects are the proposition of fundamental actions for modernizing NVRN in the context of SIRGAS WGIII. It was also considered the Standard established by the International Organization for Standardization, directed to geographic and geomatic information, the ISO 19115 da ISO/TC 211 related to the use and administration of spatial data and metadata. The basis for that are in developing inventory methodology on vertical related data in South America by taking into account the present IAG/GGOS/SIRGAS-WGIII standards and for building a future Spatial Data Infrastructure for the Americas in accordance with the UN-GGIM Americas. A case study on a NVRN related to Ecuador is presented.

Key words: *National and Global Vertical Reference Systems and Frames; Inventory; SDI; SIRGAS; GGOS.*

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade, as principais ações da Geodesia, em nível global, estão direcionadas para propiciar a obtenção de informações espacialmente referenciadas com distribuição espacial e precisão adequada às atuais demandas dos denominados Sistemas de Observação da Terra. O posicionamento espacial tem demandas de precisões relativas de até uma parte por bilhão (1ppb) quando são analisados fenômenos de variações temporais decorrentes de fenômenos associados à redistribuição de massas no Sistema Terra. Neste contexto, são de importância fundamental os Sistemas e Redes Geodésicas de Referência com caráter geométrico e os físicos associados ao espaço do geopotencial bem como plataformas e métodos geodésicos de aquisição de dados.

A Associação Internacional de Geodesia (*International Association of Geodesy – IAG*) é a organização que se dedica à coordenação de todas as atividades da Geodesia no planeta e, em especial, tem um enfoque central nas investigações de fronteira desta Ciência. Está estruturada em diferentes Serviços Científicos, Comissões, Sub-Comissões e Inter-Comissões, que permitam gerar investigações em ramos específicos como: Sistemas de Referência; Campo da Gravidade Terrestre; Rotação da Terra e Geodinâmica; Posicionamento e suas aplicações.

Destaque-se na estrutura da IAG o *Inter-Comissão Project 1.2 (Vertical Reference Frames – IAG ICP 1.2)* com o propósito de estabelecer convenções para a definição do denominado Sistema Vertical de Referência Global (SVRG) e sua materialização através da Rede Vertical de Referência Global – RVRG no espaço do geopotencial. Para cumprir com este objetivo, foi necessária a criação de vários projetos de apoio para

dar continuidade com os objetivos de estabelecer e avaliar estas convenções.

Em 2011 a IAG integrou os trabalhos designados à IAG ICP 1.2 ao projeto *Global Geodetic Observing System (GGOS)* com o objetivo de recompilar os dados geodésicos globais para gerar uma infraestrutura e base científica interoperável que servirá aos estudos referentes às mudanças globais no âmbito das Ciências da Terra. Isto permite a relação da Geodesia com outras ciências, gerando estudos e aplicações práticas interdisciplinares em favor da sociedade. Para o desenvolvimento das atividades referidas, GGOS se encontra dividido em níveis de ação. O Nível 1 se refere à infraestrutura geodésica terrestre, a qual está formada pelas redes geodésicas de referência terrestres materializadas, estações de monitoramento contínuo, missões dedicadas, centro de dados e de análises. O GGOS utiliza-se dos serviços da IAG como base fundamental para alcançar seus objetivos bem como na geração de produtos (ver <http://www.ggos.org>).

O Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), o qual pertence à Comissão 1: *Reference Frames* da IAG, mediante a Sub-Comissão 1.3: *Regional Reference Frames*, conta com Grupos de Trabalho para desenvolver suas atividades específicas. O Grupo de Trabalho III: *Datum Vertical* (SIRGAS-GTIII), busca a criação do Sistema Vertical de Referência SIRGAS (SVRS) comum para os países membros. Para atender a este objetivo, diversos autores já apresentaram contribuições fundamentais em termos de estratégias e métodos tais como DREWES *et al.*, (2002), DE FREITAS *et al.* (2002), SÁNCHEZ & LUZ (2011), SÁNCHEZ (2012), entre outros.

Considerando-se as contribuições precedentes, busca-se suprir a necessidade de implementar ou adaptar

as estruturas nacionais visando-se suas unificações tendo por base convenções globais. Tais convenções foram criadas para a definição e realização de um SVRG (IHDE *et al.*, 2007) e são ora adaptadas às condicionantes desenvolvidas no contexto do SIRGAS- GTIII em associação com os termos de referência da IAG/GGOS (KUTTERER *et al.* 2012), que estabelecem as diretrizes para um SVRG e sua realização.

Em vista da pluralidade de acrônimos utilizados destacam-se os seguintes para facilitar a leitura do texto:

DV	- Datum Vertical
GGOS	- Global Geodetic Observing System
IAG	- International Association of Geodesy
MDA	- Modelo Digital de Altitude
MGG	- Modelo Global do Geopotencial
NMM	- Nível Médio do Mar
PVCG	- Problema do Valor de Contorno da Geodesia
RG	- Rede Gravimétrica
RTM	- Residual Terrain Model
RVRE	- Rede Vertical de Referência do Equador
RVRG	- Rede Vertical de Referência Global
RVRN	- Rede Vertical de Referência Nacional
RVRS	- Rede Vertical de Referência SIRGAS
SIRGAS-CON	- Rede de Monitoramento Contínuo de SIRGAS
SIRGAS-GTIII	- Grupo de Trabalho III de SIRGAS: Datum Vertical
SVRE	- Sistema Vertical de Referência do Equador
SVRG	- Sistema Vertical de Referência Global
SVRN	- Sistema Vertical de Referência Nacional
SVRS	- Sistema Vertical de Referência SIRGAS

2. ASPECTOS CORRELATOS À UNIFICAÇÃO DE RVRN NO CONTEXTO DO SIRGAS

Da seção precedente se denota a importância da homogeneização e unificação das redes verticais nacionais para o estabelecimento do SVRS e sua vinculação futura a um SVRG. Ações implícitas são a padronização e difusão de metadados dos SVRN e RVRN, base de processos de inventário visando às suas modernizações, manutenções e também propiciar ferramentas de acesso e de conversão para os usuários.

Os maiores problemas da unificação de SVRNs no contexto do SIRGAS decorrem da incompatibilidade dos dados existentes das redes nacionais. Em cada qual o estabelecimento foi realizado com diferentes metodologias e normas, com vínculos a diferentes *data* verticais (DVs) e épocas de referência distintas. Também, a falta de significado físico para as altitudes é fator limitante para a utilização das tecnologias mais

atuais para levantamentos e gestão territorial bem como para o vínculo a uma base de dados global. Em geral, as realizações não consideram aspectos geodinâmicos que produzem variações temporais, entre outros fatores. Em vista destes aspectos, as redes verticais apresentam consideráveis discrepâncias entre países. Na atualidade, isto representa um grande empecilho para o intercâmbio consistente de geoinformação como também para o desenvolvimento e administração de projetos conjuntos em regiões de fronteira. A inexistência de um referencial vertical unificado impede o desenvolvimento adequado de modelos geoidais/quasegeoidais na região. Portanto, pouco contribuem para a determinação de altitudes com significado físico a partir de técnicas GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Não contribuem também para o uso adequado da atual geração de Modelos Globais do Geopotencial (MGGs), poderosas bases para o relacionamento de informações geodésicas geométricas e físicas (DE FREITAS *et al.*, 2012). O conjunto destes aspectos negativos constituem-se em obstáculos para o vínculo dos diversos SVRNs a um SVRG.

Estratégias para conexão de redes verticais no espaço do geopotencial foram inicialmente propostas por HECK & RUMMEL (1990). Deram ênfase no tratamento da conexão de diferentes DVs com base em gravimetria e técnicas espaciais de posicionamento emergentes à época. As mesmas propostas possuem grande potencial de aplicação na atualidade em vista das modernas plataformas globais existentes. LEHMANN (2000) desenvolveu estratégias de unificação de redes verticais no espaço do geopotencial a partir da solução do Problema do Valor de Contorno da Geodésia (PVCG) com condição de Datum Vertical (DV) livre buscando a minimização das discrepâncias entre as redes verticais a serem conectadas. Estas estratégias em associação com os preceitos de Heck e Rummel referidos tornaram-se base de atividades globais de conexão de redes verticais. DE FREITAS *et al.* (2002) buscaram a adaptação das estratégias descritas e o estabelecimento de alternativas para a conexão de RVRNs no contexto do SIRGAS - GTIII. Desde então, tem-se buscado inventariar os aspectos correlatos a cada RVRN na América do Sul e Central. Considera-se este o processo mais complexo e certamente como um estágio fundamental para o estabelecimento do SVRS.

A existência e o conhecimento dos dados e metadados associados a cada RVRN no contexto SIRGAS são fundamentais para o desenvolvimento de estratégias para suas conexões. Assim, faz-se necessário estudar suas estruturas e recompilar toda a informação pertinente existente. A base desta investigação é a constituição de um inventário padronizado baseado em metadados, que reúna tanto os estudos anteriormente realizados como os novos, com a visão de levantar todas as características específicas das Redes Verticais. Em vista das exigências de consideração do espaço do geopotencial, as Redes Gravimétricas (RG) passaram a serem elementos assessórios importantes para a geração de estratégias locais ou nacionais de compatibilização. Com a homogeneização dos SVRNs e com o emprego

das convenções para a definição do SVRG, se poderá definir o SVRS e realizá-lo com sua respectiva Rede Vertical de Referência SIRGAS (RVRS). Esta deverá ser baseada em números geopotenciais consistentes. Atualmente, este é o passo primordial para SIRGAS - GTIII.

3. O SISTEMA VERTICAL DE REFERÊNCIA DO SIRGAS SOB AS ESPECIFICAÇÕES DA IAG/GGOS

A IAG e o GGOS têm foco na integração de dados para gerar uma infraestrutura global de informações científicas. A importância destas ações está alicerçada no estabelecimento de padrões e no esforço conjunto de várias organizações. Com isto busca-se propiciar as condições necessárias para a consistência de dados e produtos de alta qualidade para a comunidade (GROSS *et al.*, 2009). IHDE & SÁNCHEZ (2005) apontaram a necessidade de padrões para o estabelecimento de um SVRG.

A *Inter-Comission Project 1.2 (ICP1.2 – IAG Vertical Reference Systems*, propôs um conjunto de convenções para um SVRG (IHDE *et al.* 2007) os quais estão ainda sob apreciação pela comunidade geodésica internacional. Estas convenções inicialmente propostas foram concebidas para prover estruturas de referência com a acurácia necessária aos estudos relativos à forma, dimensões e aos fluxos de massa no Sistema Terra, compreendidas aí a Geosfera, Atmosfera, Hidrosfera, Criosfera e Biosfera. Na atualidade são exigidas precisões relativas no posicionamento geodésico que podem atingir a 1ppb que implicam, por exemplo, em cerca de 1cm para a realização de um DV global e de um SVRG (PLAG & PEARLMAN, 2009, pp.18).

Para fazer face aos preceitos referidos, o SIRGAS – GTIII está na busca de convenções e de procedimentos para o estabelecimento do SVRS sob a consideração de integração das componentes geométricas e físicas das altitudes no continente. As componentes geométricas correspondem às altitudes elipsoidais referidas à Rede de Monitoramento Contínuo com GNSS (SIRGAS – CON) e as componentes físicas referentes às coordenadas verticais obtidas primariamente como números geopotenciais referidos a um SVRG (SÁNCHEZ, 2007). Todavia, nas condições atuais, em grande parte das RVRNs da América do Sul, Central e Caribe é somente possível a determinação de diferenças de geopotencial ao longo das linhas de nivelamento onde existem informações gravimétricas. Outro fator impeditivo de ajustes conjuntos em termos de números geopotenciais é o de que cada DV é referido a uma superfície equipotencial particular W_{0i} associada em geral ao Nível Médio do Mar (NMM) local. Os NMMs associados aos DVs, são referidos cada qual a uma época de redução distinta e em geral discrepantes de uma superfície equipotencial de referência global, o geóide global, com geopotencial W_0 .

4. CÁLCULO DE NÚMEROS GEOPOTENCIAIS EM SISTEMAS LOCAIS E GLOBAIS

Considerando-se que a gravimetria terrestre convencional e o nivelamento geométrico assumem diferentes graus de importância nas estratégias de integração de RVRNs, é importante pormenorizar suas funções. A ação fundamental é o cálculo de números geopotenciais com precisão suficiente para realizar a determinação de altitudes físicas na conexão de SVRN.

Nas redes verticais clássicas realizadas por nivelamento geométrico, a contribuição de valores conhecidos da gravidade em cada estação de nivelamento é sua aplicação no cálculo de diferenças de potencial entre pontos nivelados. Neste caso, a tolerância de erros nos valores da gravidade é bastante grande, sendo, em geral suficientes valores da gravidade com precisão na ordem de poucos miligal. Um erro de 1 miligal produz erros em desníveis menores do que 1 mm (DE FREITAS & BLITZKOW, 1999). Em muitos casos, a interpolação de valores da gravidade é suficiente. Nestas condições, a gravimetria absoluta que tem papel relevante na atualidade no estabelecimento de redes gravimétricas com precisões na ordem de 5 microgal, não tem relevância para a geração de diferenças de potencial em redes verticais convencionais. Na estratégia convencional a única coordenada conhecida é a altitude em relação a um DV arbitrário. Isto implica que somente diferenças de potencial podem ser conhecidas ao longo de redes verticais convencionais e, portanto números geopotenciais locais. As coordenadas da maior parte dos pontos na superfície limite (Superfície Física da Terra – SF) com respeito ao elipsoide de referência ou outra superfície de referência permanecem desconhecidas. Isto tem uma implicação na solução do PVCG que torna a abordagem convencional bastante limitada, mesmo na determinação dos denominados geóides gravimétricos que são afetados pelos DV locais (GATTI *et al.*, 2012). As resoluções espaciais desses geóides, em termos de seus desenvolvimentos harmônicos, são limitadas pela frequência de Nyquist. A maior resolução espacial é dada por $\lambda/2$, sendo λ o comprimento de onda correspondente à maior frequência resolvida no desenvolvimento harmônico. Na prática, tendo em vista a frequência de Nyquist, o menor comprimento de onda resolvido é igual ao dobro da frequência de amostragem e, portanto aproxima-se a resolução pela distância média entre pontos onde se conhece o valor da gravidade, supondo-se estas estações como distribuídas de maneira aproximadamente uniforme em uma região. Usualmente, estas resoluções são ainda mais degradadas pelas distribuições das estações gravimétricas locais essencialmente ao longo de linhas de nivelamento.

Nas redes de nivelamento convencionais a determinação do geopotencial W_P em um ponto P é efetivada por:

$$W_P = W_{0i} + C_P \quad (1)$$

O número geopotencial C_P no ponto P é dado por:

$$C_P = W_{0i} - W_P = \int_0^P g dn \cong \sum g_{mi} \Delta n_i \quad (2)$$

Note que nas RVRN convencionais, W_{0i} é um valor arbitrário em cada DV conforme discutido na seção precedente. A integral na eq. (2) sobre desníveis dn é resolvida de forma numérica utilizando-se o valor médio da gravidade g_{mi} entre os extremos, por exemplo, de cada seção de nivelamento onde observa-se um desnível Δn_i .

Os métodos mais modernos da Geodésia buscam suprir as deficiências associadas às limitações das RVRN clássicas e aos geoides gravimétricos locais. Para tanto buscam tirar proveito das técnicas de posicionamento mais modernas, tal como o posicionamento GNSS associado à gravimetria.

Numa abordagem moderna do PVCG a SF pode ser dada como conhecida e ser utilizada como superfície de referência. De acordo com HECK (2011), se a SF é usada como superfície limite, esta situação configura o denominado PVCG fixado onde a única incógnita é o valor de W_P . Em vista da abordagem moderna pode ser considerada a determinação dos distúrbios da gravidade δg na forma:

$$\delta g_P = g_P - \gamma_P \quad (3)$$

Sendo γ_P a gravidade normal em P. O distúrbio da gravidade conduz à determinação do potencial perturbador T_P . A determinação de W_P na forma fixada inicia por:

$$W_P = U_P + T_P \quad (4)$$

Onde U_P potencial normal em P dado por:

$$U_P = U_0 + \frac{\partial U_0}{\partial h} h_P \quad (5)$$

U_P é obtido de U_0 que é o potencial normal da gravidade no elipsoide de referência ou de nível. Por convenção é considerado que $U_0 = W_0$ e h_P é a altitude elipsoidal de P. O número geopotencial correspondente C_P é referido a um nível vertical global W_0 é dado por:

$$C_P = W_0 - W_P = W_0 - (U_P + T_P) \quad (6)$$

HECK (2011) aponta que uma solução de primeira ordem para o PVCG pode ser obtida com base na teoria de Molodenskii utilizando-se a solução proposta por BROVAR (1972) dada por:

$$T_P = \frac{R}{4\pi} \iint_s (\delta g + g_1 + \dots) H(\psi) \cdot ds \quad (7)$$

Onde R é o raio médio da Terra, $H(\psi)$ é a função de Hotine-Koch escrita para a distância angular geocêntrica

ψ como (HOFMANN-WELLENHOF & MORITZ 2005, p.115):

$$H(\psi) = \frac{1}{\text{sen}\left(\frac{\psi}{2}\right)} - \ln \left(1 + \frac{1}{\text{sen}\left(\frac{\psi}{2}\right)} \right) \quad (8)$$

O termo de correção de primeira ordem g_1 para efeitos das massas topográficas é dado por:

$$g_1 = \frac{R^2}{4\pi} \iint_s \left(\frac{h - h_P}{\ell_0^3} \right) \delta g \cdot ds \quad (9)$$

h e h_P são respectivamente a altitude elipsoidal do elemento de massa anômala e do ponto de cálculo, ℓ_0 é a distância Euclidiana entre o ponto de cálculo e o elemento de integração dada por (HOFMANN-WELLENHOF & MORITZ, 2005, p.120):

$$\ell_0 = 2R \sin\left(\frac{\psi}{2}\right) \quad (10)$$

Considerando-se a formulação apresentada o número geopotencial em P pode ser obtido. Neste caso W_P vincula-se a um valor de referência global obtido de um SVRG de acordo com o exposto na eq. (4).

Conforme apontado por SIDERIS & SCHWARZ (1986), as soluções das eq. (9) e (10) são bastante adequadas para aplicação da técnica de *Fast Fourier Transform* (FFT). O potencial perturbador T_P pode ser calculado com base na decomposição espectral utilizando-se distúrbios da gravidade residuais. O potencial perturbador associado aos longos comprimentos de onda pode ser obtido de Modelos Globais do Geopotencial (MGGs) e o potencial perturbador referente aos curtos comprimentos de onda não resolvidos pelos dados da gravimetria pode ser obtido dos efeitos do terreno. Neste último particular, são de grande atualidade a utilização de Modelos Digitais de Altitude (MDA) e utilização da técnica RTM (*Residual Terrain Model*) proposta por FORSBERG (1984) e bastante implementada para técnicas e modelos atuais por HIRT *et al.* (2010). Esta técnica é particularmente adequada para regiões topografia acentuada e com de informações gravimétricas. Esta abordagem é adaptada da denominada técnica *Remove-Restore* proposta por FORSBERG & TSCHERNING (1981). No caso atual, o distúrbio da gravidade residual pode ser dado a partir do distúrbio da gravidade observado, o dado por um MGG e o obtido da técnica RTM por decomposição espectral como:

$$\delta g_{RES} = \delta g_{OBS} - \delta g_{GGM} - \delta g_{RTM} \quad (11)$$

Em consequência, o potencial perturbador residual é calculado com base no δg_{RES} . O potencial perturbado total em um ponto é dado então por:

$$T = T_{RES} + T_{GGM} + T_{RTM} \quad (12)$$

Mais informações sobre a abordagem fixada descrita podem ser vistas em HOFMANN-WELENHOF & MORITZ (2005, Capítulo 11).

Deve ser destacado que na abordagem fixada do PVCG a gravimetria e as altitudes elipsoidais assumem papel preponderante. Decorre que T_P é calculado em um referencial global permitindo a obtenção de W_P e consequentemente de C_P em um SVRG. O distúrbio da gravidade calculado para a SF, sem reduções, depende fundamentalmente da acurácia dos valores de g_P e h_P porém independem da existência das linhas de nivelamento convencionais. Em contrapartida, a aplicação da abordagem fixada depende da existência de boas redes gravimétricas com distribuição adequada para permitir a transferência de valores acurados da gravidade em estações de interesse (com precisões de 30 microgal ou melhores) onde efetiva-se o posicionamento GNSS com precisões de 1 cm ou melhores visando-se ao atendimento das convenções modernas do IAG/GGOS.

Pode ser entendido desde este ponto que o nivelamento geométrico convencional associado com a gravimetria, processo moroso e dispendioso, pode ser substituído com vantagens, em muitos casos, pelo método proposto baseado em nivelamento GNSS associado à gravimetria e com o uso da técnica RTM, no estabelecimento de ligações entre RVRNs propiciando já seus vínculos a um SVRG. Também o método proposto pode ser utilizado para produzir informação altimétrica em áreas inacessíveis para o nivelamento convencional. Fazendo-se a Eq. (6) menos a Eq. (2) obtém-se a discrepância do DV local com nível dado por W_{0i} do DV global com nível W_0 na forma:

$$C_P - C_{Pi} = W_0 - W_{0i} = \delta W_i \quad (13)$$

Onde δW_i é a diferença de geopotencial entre o DV local e o DV global. A denominada Topografia do Nível Médio do Mar, que expressa a altitude do NMM relativamente ao geóide associado ao SVRG é dada por (BOSCH, 2002):

$$TNMM = \frac{\delta W_i}{\gamma_i} \quad (14)$$

Onde γ_i é a gravidade normal no elipsoide de referência para a latitude do ponto considerado. Os denominados Modelos da Topografia Dinâmica dos Oceanos (do Inglês DOT – *Dynamic Ocean Topography*) ou MDT (*Mean Ocean Dynamic Topography*) são atualmente disponibilizados fornecendo a altitude do NMM relativamente ao elipsoide de referência. Estes modelos são bastante eficientes em regiões oceânicas

abertas perdendo parcialmente sua eficiência em regiões costeiras (MONTECINO *et al.* 2014).

Números geopotenciais relacionados a cada SVRN podem ser transformados para um SVRG e vice-versa, com a aplicação da Eq. (13).

Os números geopotenciais relativos a cada DV e aqueles obtidos da solução fixada quando associados a *informações provenientes de conexões entre países* possibilitam o ajuste continental e a determinação da discrepância de cada DV nacional com um SVRG.

Em síntese e de acordo com alguns aspectos de SANTACRUZ *et al.* (2014) a solução da Eq. (13) demanda os seguintes aspectos, calcados nos termos de referência do IAG/GGOS e do SIRGAS:

- Diferenças de nível medidas por nivelamento geométrico e referidas ao DV local W_{0i} .
- Valores da gravidade ao longo das linhas de nivelamento para a determinação de C_{Pi} (Eq. (1)).
- Valores da gravidade associados aos pontos, com densidade e distribuição adequadas para solução do PVCG na forma fixada como descrito. Também, estes pontos devem ser conectados, na medida do possível às RVRNs.
- Para minimizar o raio de integração na solução fixada do PVCG, deve-se empregar técnicas de decomposição espectral tal como mencionado, com base em MGGs e MDAs.
- É bem conhecido que valores da gravidade ou de distúrbios da gravidade não são usualmente disponíveis nos bancos de dados clássicas. Uma possibilidade é a da conversão de anomalias da gravidade em distúrbio da gravidade considerando-se a expressão simplificada derivada da Equação Fundamental da Geodésia Física (HOFMANN-WELLENHOF & MORITZ 2005, p.252):

$$\delta g = \Delta g - \frac{\delta \gamma}{\delta h} N \approx \Delta g + 0,3086 N \quad (15)$$

Onde Δg é a anomalia da gravidade, N é a altitude geoidal que pode ser estimada de algum MGG ou de cartas geoidais, $-0,3086$ miligal/metro é o valor médio do gradiente normal da gravidade. Observe-se que estas anomalias dependem do DV local e, portanto a solução não é exata. Usualmente, processos iterativos na solução do PVCG são aplicados.

- A formulação do PVCG baseia-se no princípio de que inexistem massas externas à superfície de contorno produzindo efeito gravitacional. Assim, os efeitos do Sol, da Lua e atmosfera devem ser removidos. Neste caso, os efeitos gravitacionais permanentes de origem externa devem ser removidos das observações da gravidade. É o caso das marés permanentes que tem aspecto preponderante nas correções nas posições e na gravidade (DE FREITAS *et al.* 2012). Usualmente as posições GNSS e as grandezas associadas aos MGGs são usualmente expressas em um sistema

livre de maré onde todos os efeitos diretos e indiretos das marés permanentes são removidos. Já dados de gravidade terrestre são dados em sistema de maré zero onde somente os efeitos indiretos das marés são mantidos. A consistência entre os sistemas de maré deve ser assegurada nos cálculos dos distúrbios da gravidade δg_P e no potencial perturbador T_P derivado dos distúrbios da gravidade.

- A formulação básica do PVCG assume que as condições de contorno na superfície limite são estacionárias e que o potencial é invariante com o tempo (condição que na realidade deve ser dita quase estacionária). Uma vez que as observáveis variam com o tempo, estas devem ser todas referidas a uma mesma época.
- A manutenção do SVRG bem como dos SVRNs devem suportar aspectos de variações temporais expressas por $\partial C_P/\partial t$ para as altitudes físicas derivadas dos números geopotenciais, $\partial h_P/\partial t$ para as altitudes elipsóidicas e $\partial N_P/\partial t$ para as altitudes geoidais.

Para garantir que a Eq. (13) forneça valores adequados das discrepâncias entre DVs locais e o DV global δW_i , é necessária, na medida das possibilidades, a remoção de todas as causas de incertezas tais como Sistemas Geodésicos de Referência para posições e gravidade, os Sistemas de Marés Permanentes devem ser compatibilizados; todas as épocas de referência devem ser compatibilizadas; etc.

5. INVENTÁRIO SOBRE REDES VERTICAIS DE REFERÊNCIA NACIONAIS NA AMÉRICA DO SUL

Em vista dos aspectos evidenciados nas seções precedentes, percebe-se ser essencial o conhecimento do estágio de cada SVRN visando-se à sua modernização, bem como para seu vínculo com o SVRS e a um SVRG. Assim, o SIRGAS – GTIII estabeleceu como atividade prioritária o inventário dos SVRNs e RVRNs na América do Sul com base em seus metadados. O inventário está sendo proposto com base em estratégias de forma que se contribua com o protagonismo dos países membros do SIRGAS no seu desenvolvimento, implementação e continuidade. Isto traz consigo vantagens com respeito a uma visão futura de acesso e descentralização da informação. Vislumbra-se ser fundamental a criação de uma única Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) do SIRGAS, a qual atende alguns os objetivos da UN-GGIM Américas (Comitê Regional das Nações Unidas sobre a Gerenciamento Global da Informação Geoespacial para as Américas), Seus Objetivos são (UN-GGIM Américas, 2014):

- Estabelecer e coordenar as políticas e normas para o desenvolvimento da IDE das Américas;
- Promover prioritariamente o estabelecimento e desenvolvimento das infraestruturas de dados geoespaciais nacionais de cada um dos membros de UN-GGIM Américas;

- Promover o intercâmbio de informações geoespaciais entre todos os membros da comunidade das Américas, respeitando sua autonomia, de acordo com suas leis e políticas nacionais;
- Incentivar a cooperação, a investigação, a complementação e intercâmbio de experiências em áreas do conhecimento relacionadas ao campo geoespacial;

Com isto, permitira-se ter interoperabilidade e intercâmbio da geoinformação entre as possíveis IDEs nacionais, continentais e globais. Certamente isto facilitará o uso deste tipo de informação geodésica, atenderá aos princípios do uso de informação aberta e o uso de software livre para benefício dos usuários.

Dentro dos objetivos de estabelecimento do SVRS a partir do vínculo das RVRNs, primeiramente buscou-se analisar o estado atual dos SVRNs e respectivas redes existentes na região SIRGAS com base na compilação de informações técnico-científicas existentes conforme os aspectos determinantes de SVR modernos sintetizados na seção precedente.

Foi efetivada a análise de metadados vinculados, em geral, às suas distribuições geográficas, bem como a necessidade de suas suplementações, classificados sob as determinantes mencionadas visando-se ao SVRS. Também foram consideradas possíveis combinações entre eles. Todos os aspectos correlatos à análise das distribuições e suas completudes foram às diretrizes do inventário já mencionado. Este inventário contém características específicas obtidas a partir da análise das informações produzidas das redes verticais da América do Sul. Resultados preliminares apontam para a falta de nivelamento convencional e de dados gravimétricos em grandes áreas. Outro aspecto crítico é a grande heterogeneidade nas definições dos SVRNs e nos seus aspectos de cobertura, qualidade e atualização nas respectivas realizações. A metodologia proposta para o inventário é sumarizada na Figura 1.

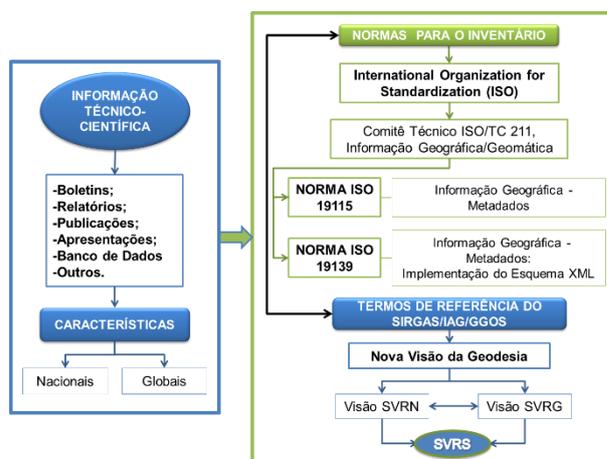


Figura 1 Metodologia do Inventário

Assim, produziu-se a análise das RVRNs, base para o estabelecimento de estratégias para suas

homogeneizações, modernizações e vínculo a um SVRG. Para se chegar a um maior entendimento com respeito à estrutura desta investigação, considerada como um sistema no qual se trabalhou com dados geográficos. Foram gerados, paralelamente, Diagramas de Caso de Uso e Diagramas de Classes. Na sequência apresenta-se os Diagramas de Caso de Uso em linguagem UML para o SIRGAS-GTIII (Figura 2) e para o caso de estudo (Figura 3), os quais mostram ao usuário como funciona o sistema de forma externa.

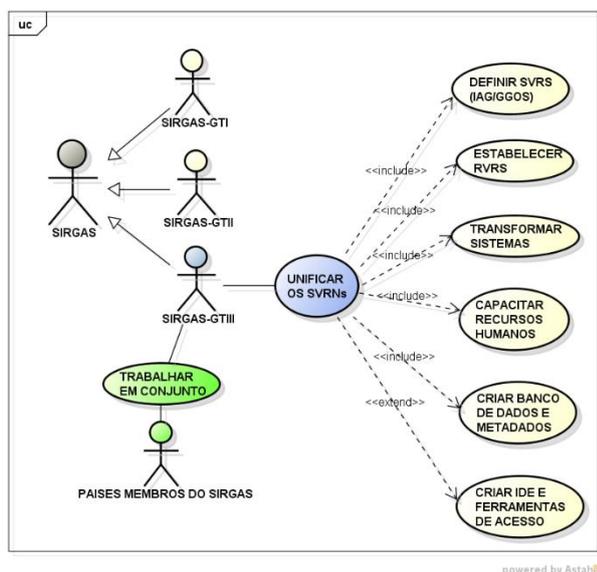


Figura 2 Diagrama de Caso de uso para o SIRGAS GT-III.

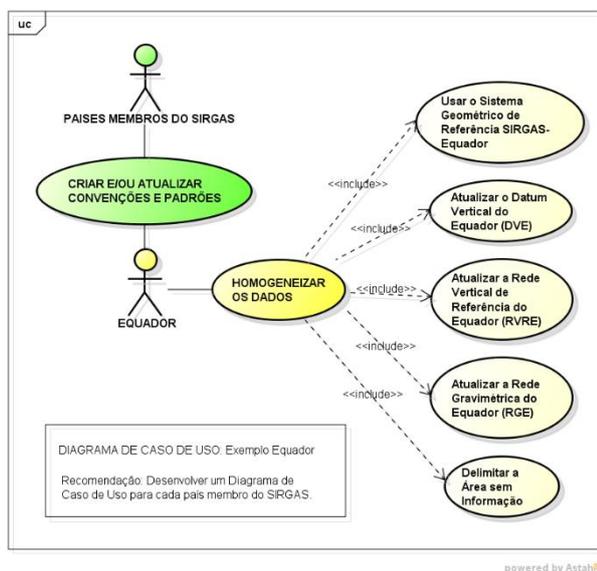


Figura 3 Diagrama de Caso de uso para o Equador.

Estes permitem o entendimento de como se observa o Sistema, tanto interna como externamente. Para se operar com estes dados tomou-se por base a Norma ISO 19115 da ISO/TC 211 Informação Geográfica/Geomática, permitindo assim implantar o uso de metadados organizados, padronizados que permitam a

criação de planilhas de metadados que contemplem as características relevantes dos SVRNs e das RVRNs. Os detalhes compilados de cada sistema e rede são fundamentais tanto para o desenvolvimento do inventário quanto para o registro de metadados específicos nas planilhas levantadas para o SIRGAS-GTIII, além de cumprir uma vez mais com os pressupostos descritos nas seções precedentes. Foram desenvolvidas quatro planilhas de metadados com de acordo seguintes Conjuntos de Dados de Geográficos (CDG):

- Rede Geométrica de Referência SIRGAS (RGeRS);
- Datum Vertical (DV);
- Rede Vertical de Referência (RVR);
- Rede Gravimétrica.

Essas propostas de planilhas de metadados pode ser analisadas, editadas, e aplicadas nos países membros do SIRGAS, dependendo de suas próprias características.

A continuação na Tabela 1 apresenta-se um exemplo da planilha de metadados do CDG Rede Gravimétrica.

TABELA 1. PLANILHA DA RG

Rede Gravimétrica (RG)		
SEÇÃO: IDENTIFICAÇÃO CDG		
Metadados	Entidade / Elemento	Condição
GERAIS	Título do Conjunto de Dados	M
	Data de referência do conjunto de dados	M
	Idioma do dado	M
	Estado Atual	O
	Responsável	M
	Palavras chave para pesquisa	O
	Recurso online	O
SEÇÃO: CARACTERÍSTICAS CDG		
Metadados	Entidade / Elemento	Condição
GERAIS	Categoria do tema do conjunto de dados	M
	Descrição abstrata do conjunto de dados	M
	Informação ampliada adicional para o conjunto de dados (vertical e temporal)	O
	Localização geográfica do conjunto de dados (por quatro coordenadas ou por identificador geográfico)	C
	Tipo de representação espacial	O
	Informação tipo vetor	C
	Informação tipo ráster	C
	Manutenção/Atualização	O
	Informação suplementar	O

ESPECÍFICOS	Tipo de componente no SRVS	O
	Tipo de dados geográficos relacionados	M
	Relação com outras combinações de dados	M
	Nome do ponto de origem	M
	Número de estações absolutas	M
	Número de estações relativas	M
	Número de nós	M
	Número de circuitos	M
	Informe do ajuste da rede	C
	Informe sobre reajuste da rede	C
	Gravidade interpolada	C
	Gravidade por MGGs	C
	Número de pontos com combinação TIPO 4	C
	Número de pontos com combinação TIPO 5	C
	Número de pontos com combinação TIPO 6	C
	Número de pontos com combinação TIPO 7	C
	Número de pontos com combinação TIPO 8	C
	Número de pontos com combinação TIPO 10	C
	Número de pontos com combinação TIPO 11	C
	Número de pontos com combinação TIPO 13	C
	Número de pontos com combinação TIPO 14	C
	Número de pontos com combinação TIPO 18	C
	Número de pontos com combinação TIPO 19	C
	Número de pontos com combinação TIPO 22	C
	Informe de metodologia empregada para o levantamento, processamento e manutenção dos dados	M
Avanços no levantamento, processamento e manutenção dos dados	C	
Estratégias de solução	O	
SEÇÃO: SISTEMA DE REFERÊNCIA		
Metadados	Entidade / Elemento	Condição
GERAIS	Identificador do Sistema de Referência	M
	Nome do elipsoide de referência	M
	Parâmetros elipsoidais	O
	Ponto Datum Vertical	M
	Tipo de Projeção	C

SEÇÃO: QUALIDADE		
Metadados	Entidade / Elemento	Condição
GERAIS	Linhagem	O
	Metodologia de levantamento de dados	M
	Metodologia de processamento de dados	M
	Metodologia de compensação o ajuste de dados	M
	Qualidade Qualitativa	O
	Qualidade Quantitativa	O
SEÇÃO: RESTRIÇÃO		
Metadados	Entidade / Elemento	Condição
GERAIS	Restrição de acesso	M
	Restrição de uso	M
	Restrição de publicação	M
	Direito de Autoria	M
SEÇÃO: IDENTIFICAÇÃO METADADO		
Metadados	Entidade / Elemento	Condição
GERAIS	Data do metadado	M
	Responsável	M
	Ponto de contato do metadado	M
	Identificador do arquivo do metadado	O
	Versão	O
	Idioma do metadado	C
	Restrição de uso do metadado	O
	Recurso online	O
SEÇÃO: DISTRIBUIÇÃO		
Metadados	Entidade / Elemento	Condição
GERAIS	Versão	O
	Responsável	M
	Ponto de Contato	M
	Formato de distribuição	M

Com esta parte desenvolvida, se criou uma projeção futura sobre o uso, operação e distribuição de dados geográficos dentro do SIRGAS. Esta abordagem certamente ajudará a incentivar os países membros para que deem continuidade para suas atividades correlatas de unificação das RVRNs.

6. ESTUDO DE CASO PARA O EQUADOR

Apresenta-se, como um exemplo, um estudo de caso sobre um SVRN. Foi levantada toda a informação disponível para o SVR do Equador (SVRE) e sua materialização (RVRE), na forma de uma estrutura de dados geodésicos e metadados. A partir do inventário

sobre a referida estrutura, foram geradas as estratégias de solução para atender aos objetivos de integração da RVRE com outras RVRN na região e formação do SVRS com base nos termos de referência do SIRGAS/IAG/GGOS. A partir deste exemplo, apresenta-se como contribuição algumas opções de como se pode homogeneizar os dados locais para uma possível unificação de RVRN.

O estudo de caso para o Equador foi elaborado considerando um inventário sobre metadados, atendendo assim aos pressupostos da Norma ISO 19115 e dos SIRGAS/IAG/GGOS. As informações dos dados foram classificadas de acordo com suas origens (desníveis, gravidade, posicionamento GNSS, observações maregráficas, entre outros) determinando-se suas características. É importante se considerar desses dados referem-se a conexões com países vizinhos. Na sequência são representadas algumas das estruturas de metadados existentes.

6.1. Rede de Estações GPS e GNSS do Equador

Existe uma estrutura relativamente densa de estações geodésicas fundamentais referidas a diversas épocas das realizações do ITRS e um conjunto de estações contínuas (a maior densidade dentro do SIRGAS-CON) estabelecidas com receptores GPS (Figura 4). Como estratégias de sua plena utilização, deve-se:

- Associar gravimetria aos pontos existentes e promover suas conexões com a RVRE;
- Promover a densificação de estações GPS em áreas com dificuldade de acesso ao nivelamento convencional associado também a estas observações gravimétricas.

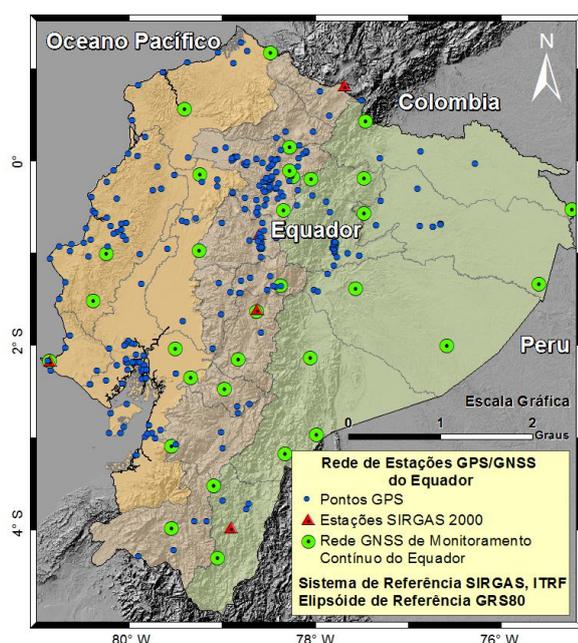


Figura 4 Estações GPS e GNSS do Equador com vínculo ao ITRS.

6.2. Datum Vertical do Equador (DVE)

O DVE foi realizado por nove anos de observações convencionais do Nível Médio do Mar (NMM), entre 1950 e 1959, com marégrafo costeiro instalado em *La Libertad* (Figura 5).

Das análises efetivadas sobre metadados concluiu-se existirem etapas fundamentais a serem desenvolvidas para sua modernização. Assim, evidenciam-se as seguintes possíveis estratégias relativamente ao DVE:

- Reativação de observações maregráficas contínuas para finalidades geodésicas;
- Posicionamento geocêntrico contínuo do marégrafo conforme proposto por DE FREITAS *et al.* (2002);
- Modelagem da evolução do NMM em *La Libertad* discriminando-o dos movimentos locais da crosta;
- Melhoria da resolução de MGGs recentes buscando a redução de seus erros de omissão (e.g. por RTM e/ou densificação gravimétrica) de forma a se assegurar uma melhor solução do PVCG na região do DVE;
- Determinação de W_{0i} no DVE permitindo a determinação de δW_i com base na solução do PVCG complementada por análise da Topografia do NMM com base em Modelos da Topografia Dinâmica dos Oceanos e MGGs relacionados a um SVRG.

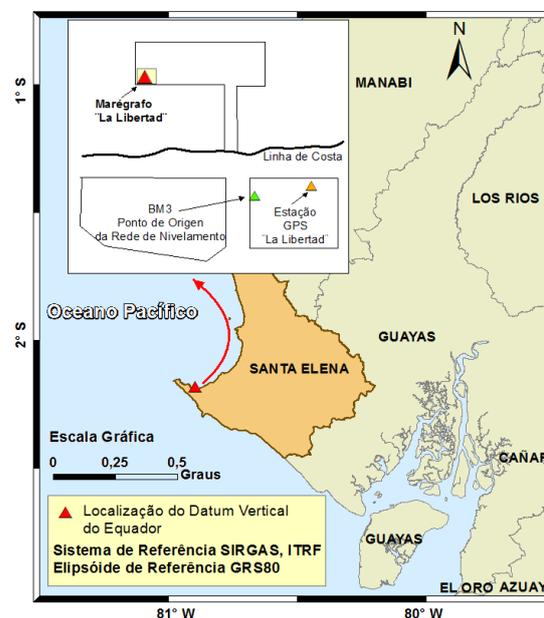


Figura 5 Localização do DVE “La Libertad”

6.3. Rede Vertical de Referência do Equador (RVRE)

A RVRE com origem no ponto BM3 (cf. Figura 6) é materializada por aproximadamente 6000 pontos em linhas de nivelamento geométrico ditas de primeira ordem. Os pontos têm espaçamento médio de cerca de

1,5 km sobre 11.000 de linhas niveladas e contra-niveladas ao longo das principais rodovias do país. Está sub-dividida em mais de 62 linhas, 20 circuitos e 38 nós. Não existe divulgado um controle efetivo de sua precisão. Diversos pontos da RVRE possuem controle por GPS geodésico. Atualmente está sendo iniciada sua extensão em regiões de fronteira visando sua conexão com países vizinhos e também na região amazônica do Equador.

Em vista da sua análise evidenciam-se as seguintes possíveis estratégias para modernização da RVRE:

- Análise dos erros das altitudes niveladas e de eventuais observações gravimétricas associadas;
- Busca da sua densificação nas regiões de fronteira e Amazônia conforme carências evidenciadas na Figura 6;
- Associação de valores da gravidade com base em novas observações ou interpolação onde for possível;
- Determinação de diferenças de geopotencial em associação aos pontos nivelados;
- Ajustamento da RVRE com base em diferenças de geopotencial (ou números geopotenciais relativos ao DVE);
- Determinação de números geopotenciais relacionados ao SVRG com base no valor determinado da TNMM ou δW_i ;
- Determinação das discrepâncias em pontos de conexão com outros países.

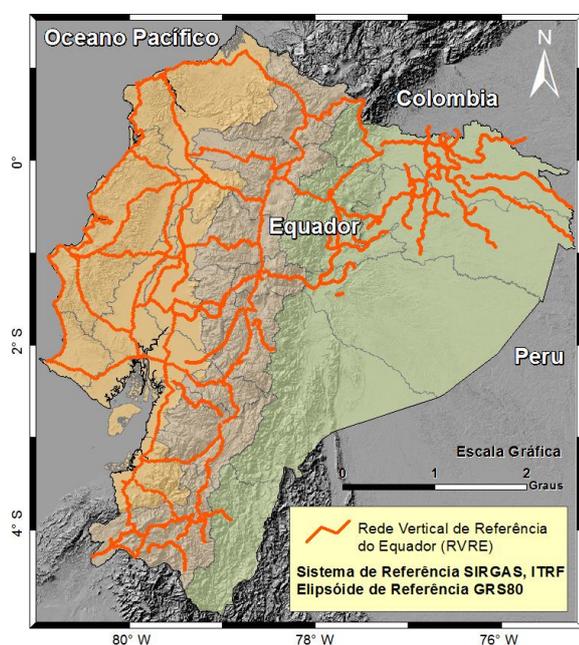


Figura 6 – RVRE

6.4. Rede Gravimétrica do Equador (RGE)

A RGE foi estabelecida por um conjunto de 39 pontos ligados à estação Quito da *International Gravity Standardization Net 1971* (IGSN71). Existem no

Equador três estações de gravidade absoluta hoje utilizadas como pontos de controle da RGE. Juntamente com esta rede fundamental foram iniciadas atividades de densificação na região no entorno de Quito (Figura 7). Em adição, existem milhares de estações derivadas da rede fundamental, principalmente aquelas associadas à prospecção de petróleo no país, porém sem um controle de qualidade. Assim entende-se como atividades essenciais para a modernização e densificação da RGE:

- Ajustamento da RGE com injeção das estações absolutas;
- Determinação da gravidade sobre todas as estações GPS e GNSS fundamentais bem como melhorar a distribuição de observações gravimétricas sobre as estações da RVRE visando-se a determinação de números geopotenciais;
- Interpolação de valores da gravidade sobre as estações da RVRE onde não existem observações diretas da gravidade;
- Determinações gravimétricas em associação com posicionamento GPS e/ou GNSS visando-se a uma distribuição mais uniforme de pontos com distúrbio da gravidade conhecidos em um SVRG, visando-se à solução fixada do PVCG;
- Determinação de parâmetros ou cartas digitais de transformação entre coordenadas atuais da RVRE e a RVRG.

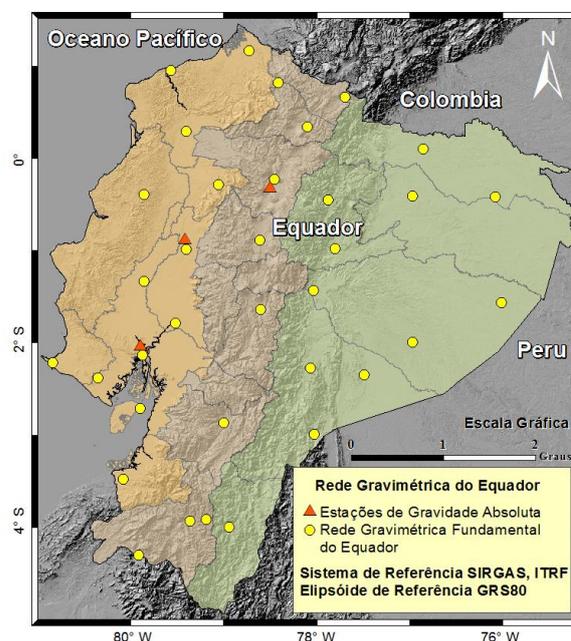


Figura 7 RGE e sua densificação

6.6. Ações Complementares para o SVRE e RVRE

Tendo em vista os aspectos essenciais para modernização e vínculo do SVRE a um SVRG e considerando-se os aspectos sintetizados na seção 4, percebe-se que os maiores problemas estão associados a áreas com vazios de informações correlatas ao

posicionamento vertical. Isto está evidenciado nas Figuras 5, 6 e 7. Cabe aqui reinserir as considerações de que os levantamentos complementares mencionados nos itens precedentes sofrem impacto direto em seu planejamento e execução em função de limitações de recursos. Assim é que assume importância a consideração das possibilidades aportadas pelos métodos mais atuais da Geodésia bem como das missões baseadas em satélites artificiais e nos respectivos produtos derivados. Neste contexto inserem-se os MGGs, MDAs, DOT (ou MDT), além de outras técnicas emergentes tais como as novas ferramentas INSAR e a integração de *Inertial Navigation Systems* (INS) com o GNSS. Esta última ferramenta, antes uma expectativa, graças à evolução tecnológica com aumento significativo da precisão e barateamento de custos torna-se uma possibilidade real na atualidade.

7. EXTENSÃO DE RESULTADOS PARA O SVRS

Com base no estudo de caso do SVRE e RVRE percebe-se que para o estabelecimento do SVRS, precedem às ações de unificação uma extensa atividade de inventário dos SVRN e RVRN. No estágio das atividades já desenvolvidas percebem-se carências similares às reportadas para o SVRE e RVRE. Assim é que confirma-se a necessidade da padronização das metodologias e Banco de Dados atualizados para a modernização dos SVRN. Estas atividades dentro dos objetivos centrais do SVRS em consonância com os padrões do IAG/GGOS exigem a estruturação de Banco de Dados e metadados consistentes, de acesso aos países membros e para as quais estes países sejam protagonistas no suprimento de todas as informações pertinentes. Evidencia-se assim a imediata formatação e regulamentação da geoinformação dos países membros dentro de padrões globais de forma a que o SIRGAS-GTIII em articulação com as representações nacionais possa enfim realizar o SVRS vinculado a um SVRG e consiga produzir as ferramentas necessárias a cada país para as respectivas conversões dos sistemas atuais, a mais de manter cada SVRN agora vinculado ao Sistema Global dentro do espaço do geopotencial.

10. CONCLUSÕES

Uma proposta do inventário das Redes Verticais de Referência Nacionais no contexto do SIRGAS foi apresentada. Tal inventário é fundamental para a modernização das RVRNs e suas conexões dentro do contexto de um SVRG. Para tanto foram ou propostas ou consideradas normas e convenções existentes no sentido de facilitar a geração de possíveis estratégias de solução com base nos termos de referência SIRGAS/IAG/GGOS. Estas estratégias apresentam-se como viáveis para resolver os problemas que surgem na homogeneização e modernização de dados nacionais, conexões entre países

e integração das redes verticais da América do Sul, e possivelmente na América Central e Caribe.

A falta de informação específica, organizada e padronizada referente aos SVRN e as RVRN do SIRGAS, gera a necessidade de levantamento de metadados, os quais detalham as características próprias de cada país e características regionais.

Devido à proposta de se utilizar metadados, reforçou a necessidade de padronização das informações correlatas para serem armazenadas num Banco de Dados e criar uma IDE para SIRGAS, considerando um dos principais objetivos do UN-GGIM Américas. Por isso, pode-se concluir que este trabalho é uma contribuição no campo da Geodésia e da gestão das informações correlatas, sendo relevante para ser considerado como uma base de procedimentos pelos países membros do SIRGAS.

Considerando-se o estudo de casos sobre os componentes do SVRE e RVRE, os quais são representativos da realidade encontrada em grande parte dos países membros do SIRGAS, , conclui-se que, em geral, são necessárias ações de atualização, recuperação e complementação de dados, com objetivo da modernização dos SVRN e RVRN visando-se seus vínculos a um SVRG. O foco central é o da geração de números geopotenciais que são as bases para o vínculo das RVRN, ajuste da RVRN e determinação de parâmetros de transformação entre os SVRN e o SVRS.

O uso de fontes modernas para a obtenção de dados espaciais, com base nos sistemas de levantamento de dados por satélite são considerados essenciais para abordar a limitada disponibilidade de dados em algumas áreas inacessíveis no território dos países do SIRGAS;

O esforço e protagonismo de cada país membro do SIRGAS para gerar informação precisa e adequada para o desenvolvimento de estratégias de solução confiáveis para suas condições específicas é fundamental para alcançar todos os objetivos definidos pelo SIRGAS-GTIII.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOSCH, W. **The Sea Surface Topography and its Impact to Global Height System Definition.** In: Drewes, H.; Dodson, A. H.; Fortes, L. P. S.; Sánchez, L.; Sandoval, P. (Ed.). Vertical Reference Systems. IAGS vol. 124, Springer-Verlag, Berlin: p. 225-230. 2002.

BROVAR, V. V., **A possible improvement in the accuracy of gravimetric results in Geodesy.** Sov. Astron. 15, 1055–1058. 1972

DE FREITAS, S. R. C.; BLITZKOW, D. **Altitudes e Geopotencial.** In: International Geoid Service – Bulletin n. 9 - Special Issue for South America. Jun. p. 47-61. 1999.

- DE FREITAS, S.R.C., MEDINA, A.S, LIMA, S.R.S. **Associated problems to link South American Vertical Networks and possible approaches to face them.** In: Drewes, H.; Dodson, A. H.; Fortes, L. P. S.; Sánchez, L.; Sandoval, P. (Ed.). *Vertical Reference Systems*. IAGS vol. 124, Springer-Verlag, Berlin: p. 318-323. 2002.
- DE FREITAS, S. R. C.; FERREIRA, V. G.; PALMEIRO, A. S.; DALAZOANA, R.; LUZ, R. T.; FAGGION, P. L. **Modelagem do potencial anômalo no datum vertical brasileiro visando sua nova definição.** *Boletim de Ciências Geodésicas*, Curitiba, v. 13. n. 2, p. 395-419, jun./dez. 2007.
- DE FREITAS, S. R. C.; FERREIRA, V. G.; DALAZOANA, R. **The Spatial Age and the New Paradigms in Geodesy: Implications for surveying and mapping in Brazil.** *Brazilian Journal of Cartography. Special Internactional Issue*. 64/6: 845-861, 2012.
- DREWES, H.; SÁNCHEZ, L.; BLITZKOW, D.; DE FREITAS, S.R.C. **Scientific Foundations of the SIRGAS Vertical Reference System.** In: Drewes, H.; Dodson, A. H.; Fortes, L. P. S.; Sánchez, L.; Sandoval, P. (Ed.). *Vertical Reference Systems*. IAGS vol. 124, Springer-Verlag, Berlin: p. 297-301.
- FERREIRA, V.G.; DE FREITAS, S. R. C. **Geopotential numbers from GPS satellite surveying and disturbing potential model: a case study of Parana, Brazil.** *Journal of Applied Geodesy*, Germany, v. 5, n. 3-4, p. 8, ISSN 1862-9024. Available at: < <http://www.degruyter.com/view/j/jag.ahead-ofprint/JAG.2011.016/JAG.2011.016.xml> >. 2011.
- FORSBERG, R. **A study of terrain reductions, density anomalies and geophysical inversion methods in gravity field modelling.** Ohio State University, Report No. 355. 1984.
- FORSBERG, R.; TSCHERNING, C. C. **The use of height data in gravity field approximation by collocation.** *J. Geophys. Res.* 86, 7843–7854. 1981.
- GATTI, A.; REGUZZONI, M.; VENUTI G. **The height datum problem and the role of satellite gravity models.** *Journal of Geodesy*, 1-8. doi: 10.1007/s00190-012-0574-3. 2012.
- GGOS, **The Global Geodetic Observing System. The Goals and Tasks of GGOS.** <http://www.ggos.org/>. Acesso em junho de 2014.
- GROSS, R., BEUTLER, H., PLAG, H-P. **Integrated scientific and societal user requirements and functional specifications for the GGOS.** In: Plag H-P and Pearlman M (eds.) *Global Geodetic Observing System, meeting the requirements of a global society on a changing planet in 2020*, 224pp. 2009.
- HECK, B. **A Brovar-type solution of the fixed geodetic boundary-value problem.** *Stud. Geophys. Geod.*, 55, 441–454. 2011.
- HECK, B.; RUMMEL, R. **Strategies for solving the vertical datum problem using terrestrial and satellite geodetic data.** In: *Sea Surface Topography and the Geoid*. Ed. Sünnel, H., Baker, T. Springer, Berlin: pp. 116-128. 1990.
- HIRT, C.; FEATHERSTONE, W.E.; MARTI, U. **Combining EGM2008 and SRTM/DTM2006.0 residual terrain model data to improve quasigeoid computations in mountainous areas devoid of gravity data.** *J. Geod.*, 84, 9, 557–567. 2010.
- HOFMANN-WELLENHOF, B.; MORITZ, H. **Physical Geodesy.** Springer Wien New York. 2005.
- IHDE, J.; SÁNCHEZ, L. **A unified global height reference system as a basis for IGGOS.** *J. Geodynamics* 40(4-5):400413, DOI 10.1016/j.jog.2005.06. 015. 2005.
- IHDE J.; AMOS M.; HECK B.; KERSLEY B.; SCHÖNE T.; SÁNCHEZ L.; DREWES H. **Conventions for the definitions and realization of a conventional vertical reference system (CVRS).** http://www.ihp.int/mtg_docs/com_wg/IHOTC/IHOTC8/IHOTC8-3-6-1.pdf. 2007. Acesso em: junho de 2014.
- LEHMANN, R. **Altimetry-gravimetry problems with free vertical datum.** *Journal of Geodesy*, no. 74: 327-334. 2000.
- MONTECINO, H.; H. CUEVAS,.; S. R. DE FREITAS. **A study of the chilean vertical network through global geopotential models and the cnes cls 2011 global mean sea surface.** *Boletim de ciências geodésicas (online)* 20: 300-316. 2014.
- PLAG, H-P.; PEARLMAN, M. (eds.). **Global Geodetic Observing System, meeting the requirements of a global society on a changing planet in 2020.** Springer, Berlin. 224pp. 2009.
- SÁNCHEZ L.; BRUNINI C. **Achievements and challenges of SIRGAS.** In: Drewes H. (Ed.): *Geodetic Reference Frames*, IAGS 134:161-166, Springer, DOI:10.1007/978-3-642-00860-3_25. 2009.
- SÁNCHEZ L.; R. LUZ. **Requerimientos para la unificación de los sistemas de alturas existentes en la Región SIRGAS.** Presentado en la Reunión SIRGAS2011, Heredia, Costa Rica, agosto 8 -10, 2011.
- SÁNCHEZ, L. **Definition and Realization of the SIRGAS Vertical Reference System within a Globally Unified Height System.** In: Tregoning, P., Ch. Rizos

(Eds.), *Dynamic Planet*. IAGS 130, 638-645. Springer, Berlin p. 638-645. 2007.

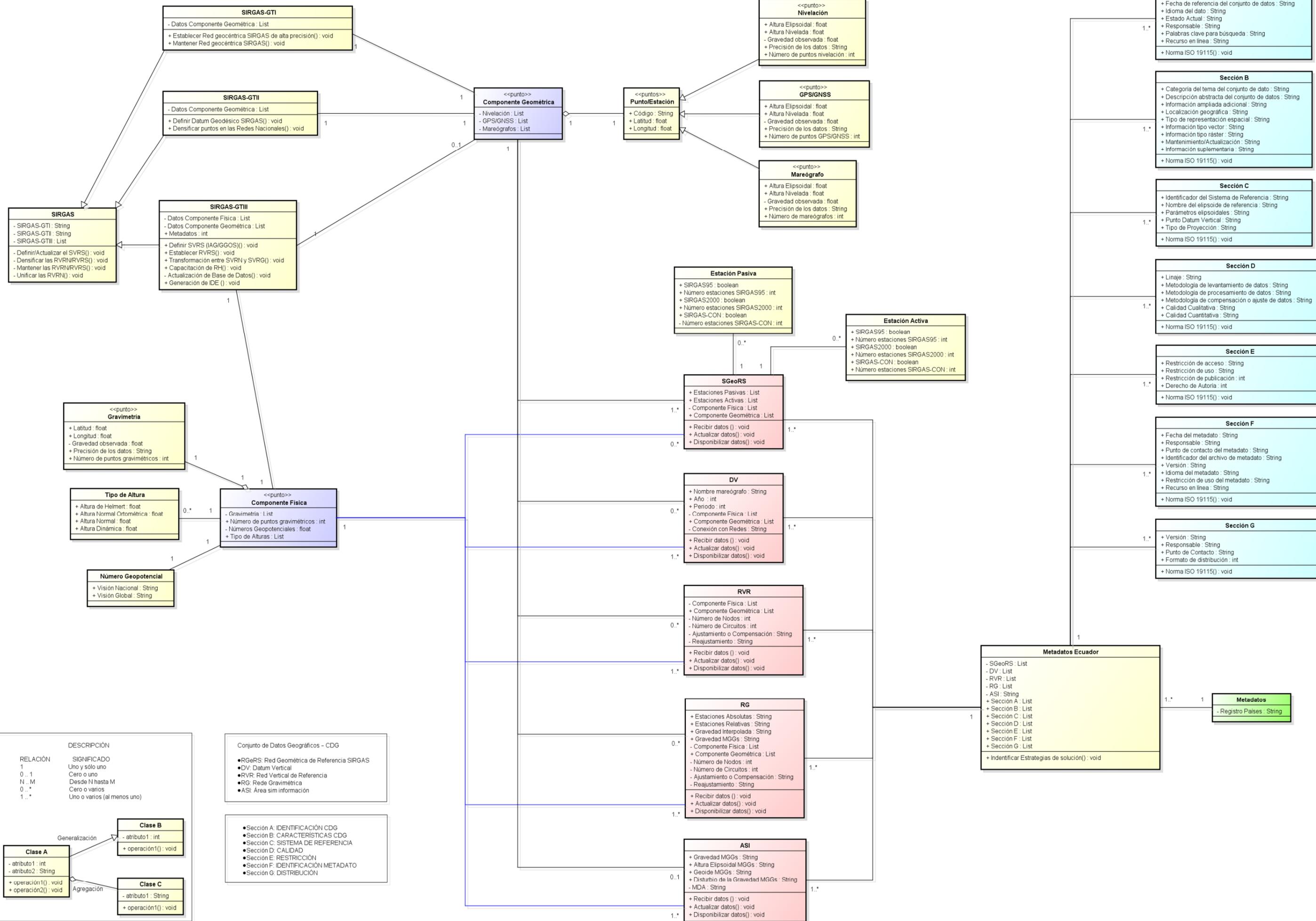
SÁNCHEZ, L. **Towards a vertical datum standardisation under the umbrella of Global Geodetic Observing System.** *Journal of Geodetic Science*. doi: 10.2478/v10156-012-0002-x. 2012.

SANTACRUZ, A.; DE FREITAS, S.; SÁNCHEZ, L. **Towards a Unified Vertical Reference Frame for South America in view of the GGOS Specifications.** 3rd International Gravity Field Service (IGFS) General Assembly. Shanghai, China, 30 de Junho – 06 de Julho de 2014.

SIDERIS, M. G.; SCHWARZ, K. P. **Solving Molodensky's series by fast Fourier transform techniques.** *J. Geodesy* 60, 51–63. 1986.

UN-GGIM Américas, 2014. **Acerca de UN-GGIM Américas.** Disponível em <<http://www.cp-idea.org/index.php/un-ggim-americas/acerca-de-un-ggim-americas>>. Acesso em: 2014

APÉNDICE 1. DIAGRAMA DE CLASES



RELACIÓN	SIGNIFICADO
1	Uno y sólo uno
0..1	Cero o uno
N..M	Desde N hasta M
0..*	Cero o varios
1..*	Uno o varios (al menos uno)

- Conjunto de Datos Geográficos - CDG
- RGeRS: Red Geométrica de Referencia SIRGAS
 - DV: Datum Vertical
 - RVR: Red Vertical de Referencia
 - RG: Rede Gravimétrica
 - ASI: Área sin información

- Sección A: IDENTIFICACIÓN CDG
- Sección B: CARACTERÍSTICAS CDG
- Sección C: SISTEMA DE REFERENCIA
- Sección D: CALIDAD
- Sección E: RESTRICCIÓN
- Sección F: IDENTIFICACIÓN METADATO
- Sección G: DISTRIBUCIÓN

