

## **1 DEFINICION Y CAMBIO DE SISTEMAS DE COORDENADAS EN ARCGIS.....2**

<b>1.1 INTRODUCCION .....</b>	<b>2</b>
1.1.1 CARTOGRAFÍA ANTERIOR A MAGNA-SIRGAS .....	2
1.1.2 CARTOGRAFÍA MAGNA-SIRGAS .....	3
1.1.3 DATUM BOGOTÁ (INTERNACIONAL 1924 O HAYFORD) VS DATUM MAGNA-SIRGAS (GRS80 o WGS84).....	5
<b>1.2 PROCEDIMIENTOS .....</b>	<b>5</b>
NOTA: EL SHAPEFILE CUNDINAMARCA.SHP NO TIENE DEFINIDO SISTEMA DE COORDENADAS, POR TANTO EN EL DISCO DURO NO EXISTE CUNDINAMARCA.PRJ. ¿QUÉ OTROS ARCHIVOS CONFORMAN ESE SHAPEFILE? (VERIFÍQUELO EN SU EXPLORADOR DE ARCHIVOS DE WINDOWS) .....	6
1.2.1 DEFINIR EL SISTEMA DE COORDENADAS EN LAS CAJA DE HERRAMIENTAS “PROJECTIONS AND TRANSFORMATIONS” DE ARCGIS PRO.....	6
1.2.2 DEFINIR EL SISTEMA DE COORDENADAS PARA EL SHAPEFILE VEREDAS.SHP .....	9
1.2.3 TRANSFORMACIÓN DE SISTEMAS DE COORDENADAS EN LA CAJA DE HERRAMIENTAS DE ARCGIS PRO.....	11
1.2.4 USANDO LA PROYECCIÓN AL VUELO.....	15
1.2.5 CONVERSIÓN DE SISTEMAS DE COORDENADAS IMPORTANDO DATOS A UNA GEODATABASE ....	17
1.2.6 GENERAR UNA CAPA DE PUNTOS A PARTIR DE UNA LISTA DE COORDENADAS .....	19

## 1 DEFINICION Y CAMBIO DE SISTEMAS DE COORDENADAS EN ARCGIS

### 1.1 INTRODUCCION

#### 1.1.1 Cartografía Anterior a MAGNA-SIRGAS

##### Elipsoide Internacional 1924 o de Hayford

Como el origen de coordenadas del sistema de referencia anterior a MAGNA-SIRGAS, es decir DATUM BOGOTÁ, no coincide con el centro de masas terrestre lo llamamos un Sistema Geodésico Local. La orientación y ubicación del elipsoide asociado se conoce como Datum Geodésico, que para nuestro caso es el Datum Geodésico Local llamado DATUM BOGOTÁ.

Antes de la definición del sistema MAGNA-SIRGAS la plataforma de referencia nacional estaba constituida por un datum geodésico horizontal, adoptado en 1941, llamado DATUM BOGOTÁ, cuyo elipsoide asociado corresponde con el Internacional de 1924 y cuyo datum se localizó en el Observatorio Astronómico de Bogotá.

Constantes del elipsoide internacional o de Hayford:

Constante	Relación matemática	Valor
Semieje mayor ( $a$ )	Constante definida	$a = 6\,378\,388,000\,00\text{ m}$
Aplanamiento reciproco ( $1/f$ )	Constante definida	$1/f = 297$
Primera excentricidad ( $e^2$ )	$e^2 = 2f - f^2$	$e^2 = 6,722\,670\,022\,33 \cdot 10^{-3}$
Segunda excentricidad ( $e'^2$ )	$e'^2 = \frac{f(2-f)}{(1-f)^2}$	$e'^2 = 6,768\,170\,197\,22 \cdot 10^{-3}$
Semieje menor ( $b$ )	$b = a(1-f)$	$b = 6\,356\,911,946\,13\text{ m}$

La proyección cartográfica oficial de Colombia es el sistema Gauss-Krüger. El sistema de proyección UTM (Universal Transversa de Mercator) corresponde con el de Gauss-Krüger, solo que utiliza un factor de escala equivalente a  $m=0,9996$  para el meridiano central y husos de  $6^\circ$ .

La anterior cartografía oficial de Colombia utiliza la proyección Transversa de Mercator. A partir de esta proyección, se definieron 6 sistemas de coordenadas locales, que dividen al país en igual número de zonas, cada una con su propio origen de coordenadas. El objetivo de esta división es reducir el error que se introduce en los mapas al alejarse del origen de coordenadas.

Las coordenadas en DATUM BOGOTÁ de los 5 orígenes Gauss-Krüger en Colombia corresponden con:

ORIGEN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		COORDENADAS PLANAS	
	LATITUD ORIGEN	LONGITUD ORIGEN	ORIGEN Este	ORIGEN Norte
Este-Este	4°35'56.57"N	68°04'51.30" W	1'000.000 m	1'000.000 m
Este	4°35'56.57"N	71°04'51.30" W	1'000.000 m	1'000.000 m
Bogotá	4°35'56.57"N	74°04'51.30" W	1'000.000 m	1'000.000 m
Oeste	4°35'56.57"N	77°04'51.30" W	1'000.000 m	1'000.000 m
San Andrés	4°35'56.57"N	80°04'51.30" W	1'000.000 m	1'000.000 m

Para cada origen, tanto en sentido longitudinal (Este), como en sentido latitudinal (Norte), se adoptaron los valores  $x = 1'000.000\text{m}$ ,  $y = 1'000.000\text{m}$ , con el objeto de evitar valores negativos en las coordenadas.

A partir de estos orígenes, las coordenadas aumentan de valor hacia el este y disminuyen hacia el Oeste. De la misma similar, aumentan hacia el norte y disminuyen hacia el sur (IGAC, 1979).

El elipsoide antiguo utilizado en el sistema de coordenadas del IGAC es el Internacional o Hayford (1924). Este elipsoide es 'desplazado' con respecto al centro de la tierra para lograr un mejor ajuste de la proyección en esta área particular del planeta (con este elipsoide desplazado se obtiene el datum local).

Para la zona de origen Bogotá, los parámetros del sistema de coordenadas son:

Proyección: Transversa mercator

Elipsoide: Internacional

Unidades: Metros

Datum: Bogotá (se usa el mismo para todo el país)

Longitud de origen: 74°04'51.30" W

Latitud de origen: 4° 35' 56.57" N

Coordenadas planas en el origen: 1'000.000, 1'000.000

### 1.1.2 Cartografía MAGNA-SIRGAS

Como el origen de coordenadas del sistema de referencia MAGNA-SIRGAS coincide con el [centro de masas terrestre](#) lo llamamos un Sistema de Referencia Geocéntrico o Sistema Coordenado Geocéntrico.

El sistema geocéntrico utilizado en geodesia es el Sistema Convencional de Referencia Terrestre ([ITRS](#): International Terrestrial Reference System) el cual es mantenido y proporcionado por el Servicio Internacional de Rotación Terrestre y Sistemas de Referencia ([IERS](#): International Earth Rotation and Reference System Service). El ITRS se define con origen en el centro de masas terrestre (incluyendo océanos y atmósfera).

La realización (materialización) del ITRS es el [ITRF](#) (International Terrestrial Reference Frame) .Dada la dependencia de las coordenadas geodésicas con respecto del tiempo, el ITRF se complementa indicando la época para la cual las posiciones de sus estaciones son vigentes. Por ejemplo, la denominación ITRF94 indica que las coordenadas de esa red están definidas para el 1 de enero de 1993. Su traslado a fechas diferentes implica la aplicación de velocidades (por el movimiento de placas tectónicas). El marco de referencia mas recientemente calculado es el ITRF2000 el cual, [coincide](#) con la nueva definición del [WGS84 \(G1150\)](#) (World Geodetic System 1984, semana GPS No. 1150) introducida a partir de 1 de enero de 2000.

El ITRF ha sido extendido (densificado) en el continente americano mediante SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas). El datum geodésico correspondiente está definido a partir de los parámetros del elipsoide GRS80 (Geodetic Reference System, 1980), orientado según los ejes coordenados del sistema de referencia SIRGAS, equivalente al ITRF94.

SIRGAS es la extensión del ITRF en América; que para Colombia se densificó con la Red Básica GPS denominada MAGNA (Marco Geocéntrico Nacional de Referencia). El dátum geodésico asociado corresponde con el elipsoide GRS80 (Geodetic Reference System, 1980). Las coordenadas de las estaciones MAGNA-SIRGAS están definidas sobre el ITRF94.

#### **Elipsoide GRS80 (Geodetic Reference System, 1980)**

Este es el elipsoide asociado al ITRS y por tanto a SIRGAS y a MAGNA. En la práctica equivale al elipsoide WGS84 (World Geodetic System, 1984). Sus constantes son:

Constante	Relación matemática	Valor
Semieje mayor ( $a$ )	Constante definida	$a = 6\ 378\ 137,000\ 00\ m$
Constante gravitacional geocéntrica ( $GM$ )	Constante definida	$GM = 3\ 896\ 005 \cdot 10^8\ m^3\ s^{-2}$
Factor de aplanamiento dinámico ( $J_2$ )	Constante definida	$J_2 = 108\ 263 \cdot 10^{-8}$
Velocidad angular de rotación ( $\omega$ )	Constante definida	$\omega = 7\ 292\ 115 \cdot 10^{11}\ rad\ s^{-1}$
Primera excentricidad ( $e^2$ )	Cálculo iterativo a partir de $a, GM, J_2, \omega$	$e^2 = 6,694\ 380\ 022\ 90 \cdot 10^{-3}$
Segunda excentricidad ( $e'^2$ )	$e'^2 = \frac{e^2}{1-e^2}$	$e'^2 = 6,739\ 496\ 775\ 48 \cdot 10^{-3}$
Semieje menor ( $b$ )	$b = a \sqrt{1-e^2}$	$b = 6\ 356\ 752,314\ 14\ m$
Aplanamiento reciproco ( $1/f$ )	$f = \frac{a-b}{a}$	$1/f = 298, 257\ 222\ 101$

Las coordenadas planas MAGNA de los orígenes Gauss-Krüger en Colombia corresponden con:

Origen	Coordenadas Elipsoidales		Coordenadas Gauss-Krüger	
	Latitud (N)	Longitud (W)	Norte [m]	Este [m]
Bogotá-MAGNA	4° 35' 46,3215"	74° 04' 39,0285"	1 000 000,0	1 000 000,0
Este Central - MAGNA	4° 35' 46,3215"	71° 04' 39,0285"	1 000 000,0	1 000 000,0
Este Este - MAGNA	4° 35' 46,3215"	68° 04' 39,0285"	1 000 000,0	1 000 000,0
Oeste - MAGNA	4° 35' 46,3215"	77° 04' 39,0285"	1 000 000,0	1 000 000,0
Oeste Oeste - MAGNA	4° 35' 46,3215"	80° 04' 39,0285"	1 000 000,0	1 000 000,0

Para la zona de origen Bogotá, los parámetros del sistema de coordenadas son:

Proyección: Transversa mercator

Elipsoide: GRS\_1980

Unidades: Metros

Datum: MAGNA

Longitud de origen: -74.077508) (74°04'39.0288" W)

Latitud de origen: 4.596200 (4° 35' 46.32" N)

Coordenadas planas en el origen: 1'000.000, 1'000.000

### 1.1.3 DATUM BOGOTÁ (*Internacional 1924 o Hayford*) vs DATUM MAGNA-SIRGAS (*GRS80 o WGS84*)

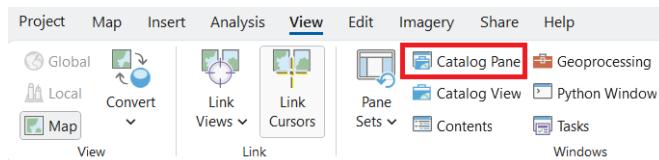
El Datum Bogotá materializa el ITRS con un error sistemático de aproximadamente 250 mts, ya que su origen se encuentra desplazado del geocentro 530 m. Esto significa que las posiciones definidas sobre Datum Bogotá aparecen desplazadas en una cantidad similar con respecto a las posiciones definidas sobre MAGNA-SIRGAS.

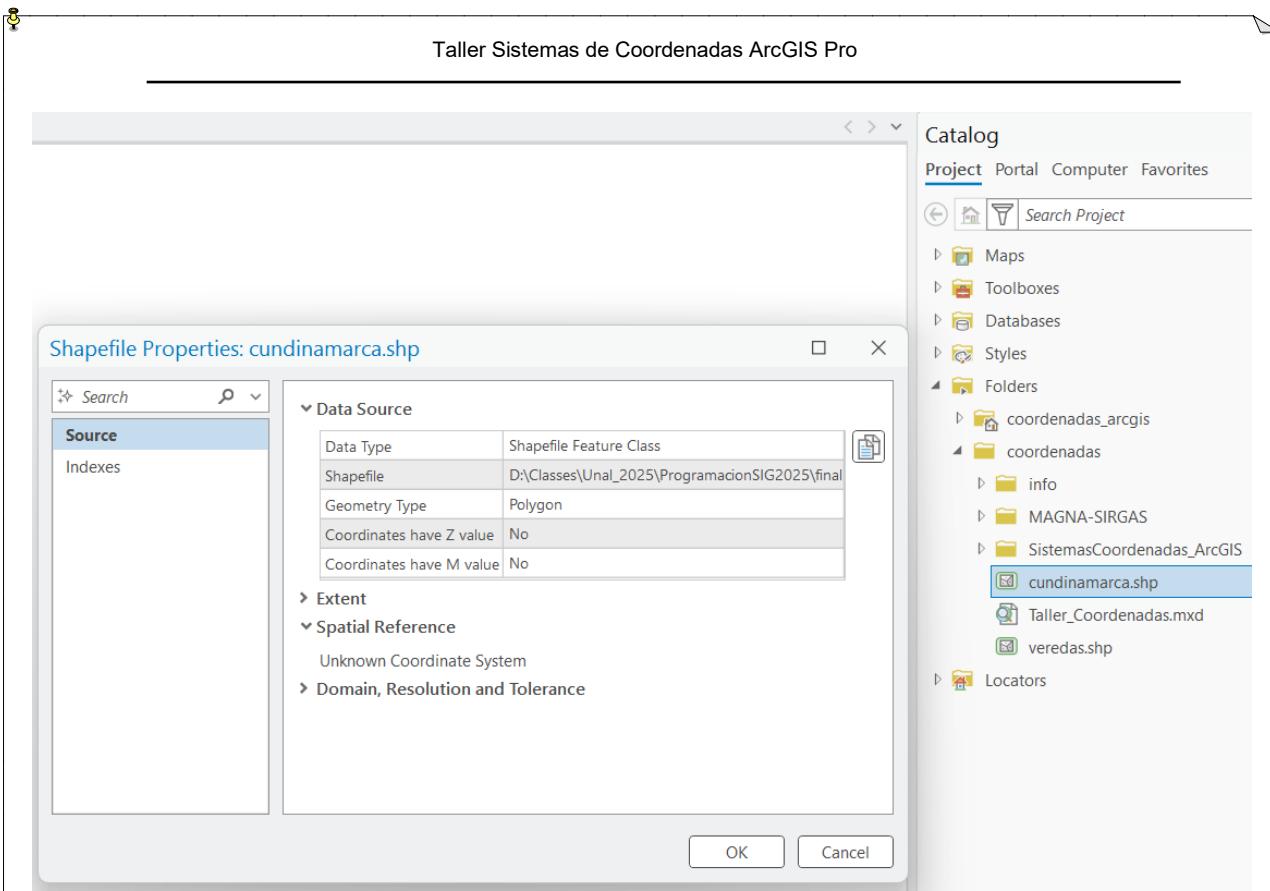
## 1.2 PROCEDIMIENTOS

Se utilizarán ArcGIS Pro para realizar varias tareas relacionadas con la conversión entre sistemas de coordenadas.

Los datos se encuentran en la carpeta “data”, archivo “coordenadas.zip”. Cree un proyecto de ArcGIS Pro y vincule la ruta de sus datos al proyecto.

En el catálogo de ArcGIS Pro, verifique las propiedades de todos los archivos que hay en la carpeta de datos para verificar si tienen asignado un sistema de coordenadas.

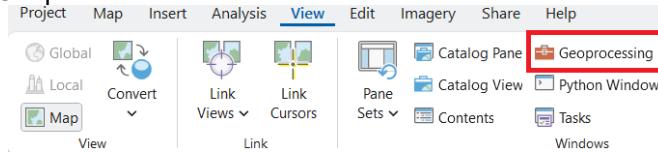


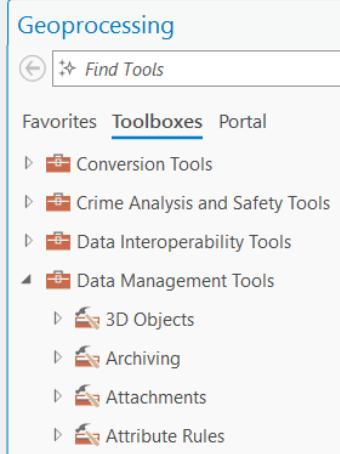


Nota: El shapefile cundinamarca.shp no tiene definido sistema de coordenadas, por tanto en el disco duro no existe cundinamarca.prj. ¿Qué otros archivos conforman ese Shapefile? (verifíquelo en su Explorador de Archivos de Windows)

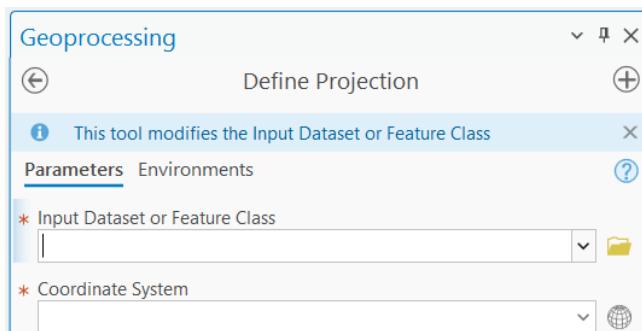
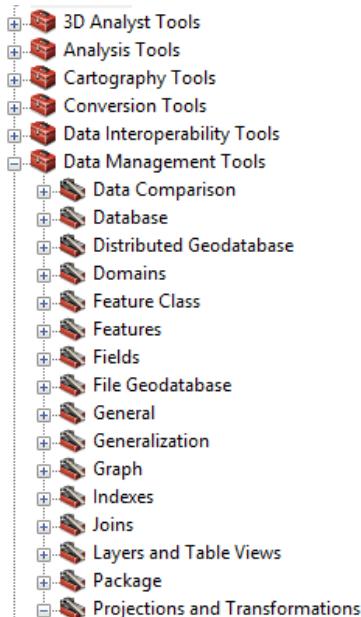
### 1.2.1 Definir el sistema de coordenadas en las cajas de herramientas “Projections and Transformations” de ArcGIS Pro

#### 1. Active el panel de Geoprocесamiento





2. Ingrese a la caja de herramientas *Data Management Tools* y en *Projections and Transformations* haga doble clic sobre la herramienta *Define Projection*.

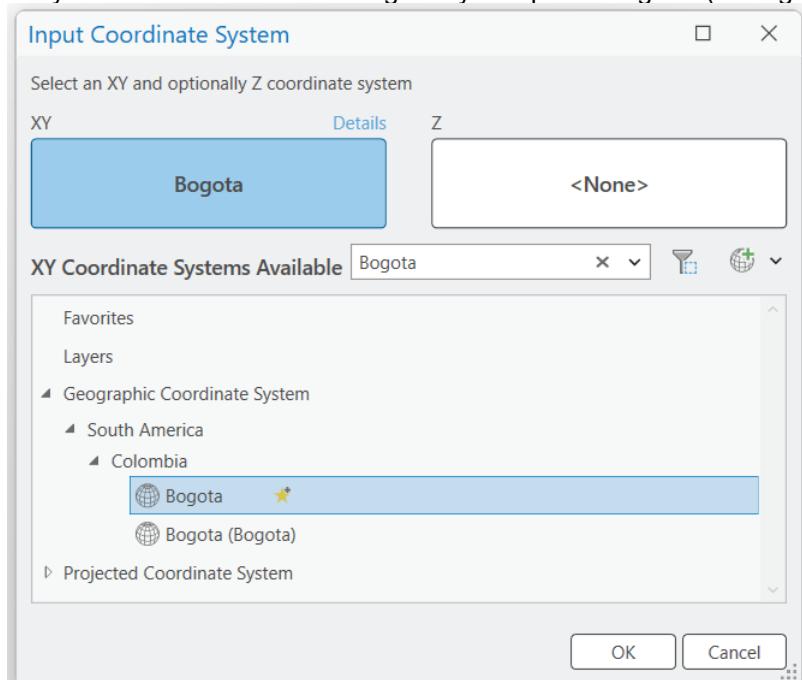


Con esta herramienta, puede definir el sistema de coordenadas de datos raster o vector, incluyendo

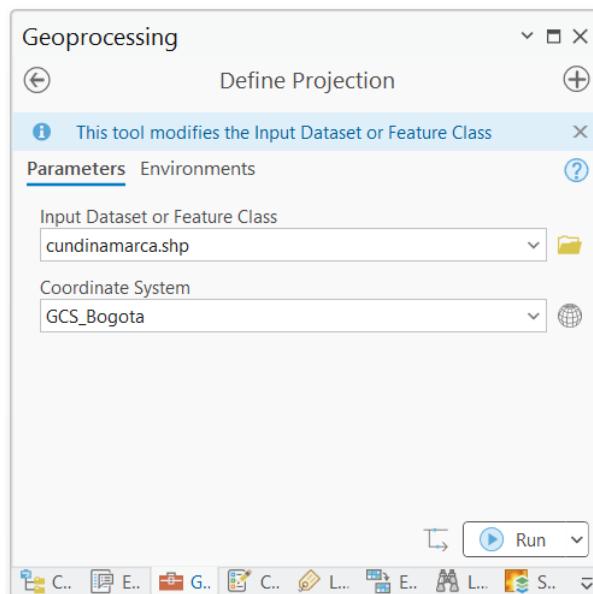
*shapefiles* y coberturas de versiones anteriores de Arc/Info. ES RESPONSABILIDAD DEL CREADOR DEL DATO asignar el sistema de coordenadas de sus datos. Recuerde: si asigna a los datos un sistema de coordenadas erróneo, ArcGIS no tiene forma de saberlo ni corregirlo.

### 3. En la ventana de la herramienta *Define Projection*

- Input dataset: Cundinamarca.shp
- Coordinate System: Use la ventana emergente y busque a “Bogota” (ver siguiente imagen)



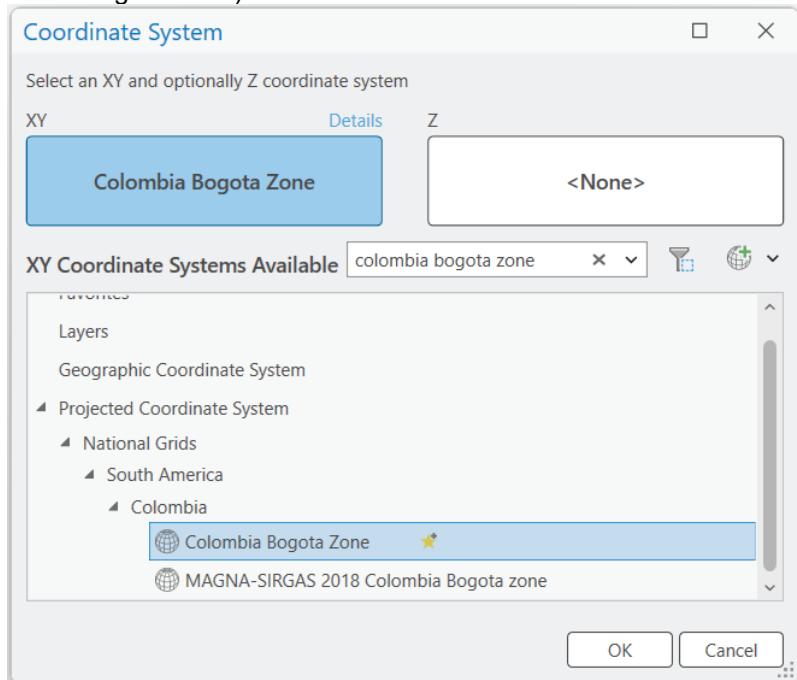
- Presione OK
- Ejecute la herramienta con “Run”



Verifique las propiedades de GCS\_Bogota y describa si está relacionado con ARENA, MAGNA-SIRGAS y si es geográfico o proyectado.

### 1.2.2 Definir el sistema de coordenadas para el Shapefile veredas.shp

Veredas.shp (Colombia Bogotá Zone)



Verifique las propiedades de “Colombia Bogota Zone” y describa si está relacionado con ARENA, MAGNA-SIRGAS y si es geográfico o proyectado. Si es proyectado a cuál de los 6 orígenes corresponde.

Siempre se debe definir el sistema de coordenadas de los datos. Por un lado, para mantener una documentación completa, y por otro, para facilitar algunas tareas en ArcGIS. Por ejemplo: cuando se importan datos con un sistema de coordenadas “X” en una geodatabase con un sistema de coordenadas “Y”, ARCGIS SE ENCARGA DE HACER LA CONVERSIÓN ENTRE SISTEMAS DE COORDENADAS AUTOMÁTICAMENTE.

Las siguientes imágenes muestran los sistemas de coordenadas proyectadas de Colombia en ArcGIS Pro:

XY Coordinate Systems Available  x v Filter + v

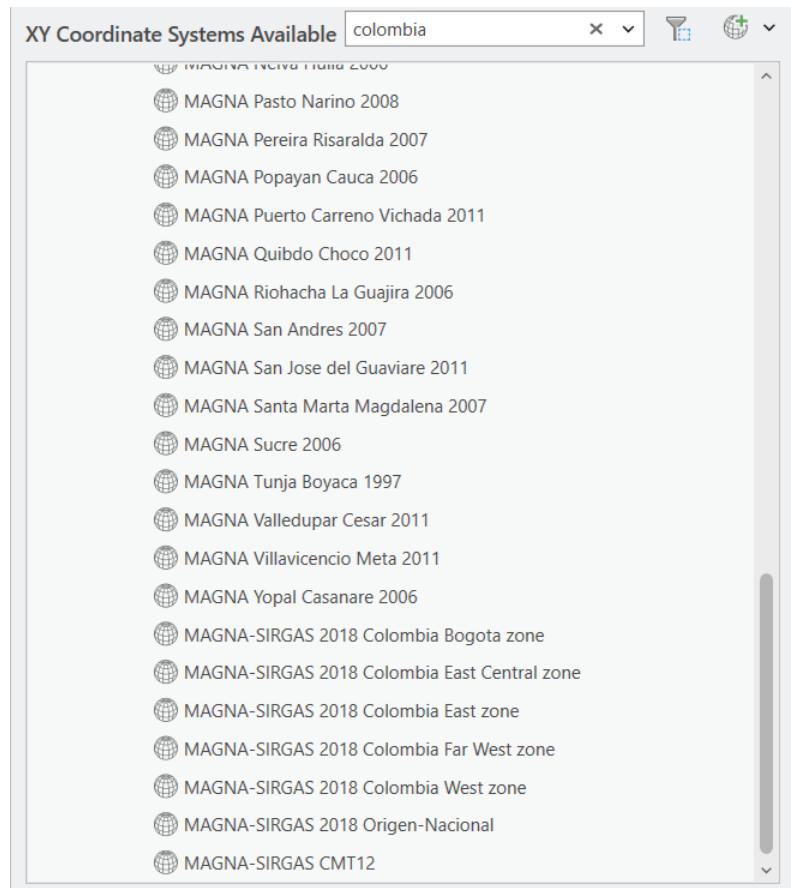
Projected Coordinate System

National Grids

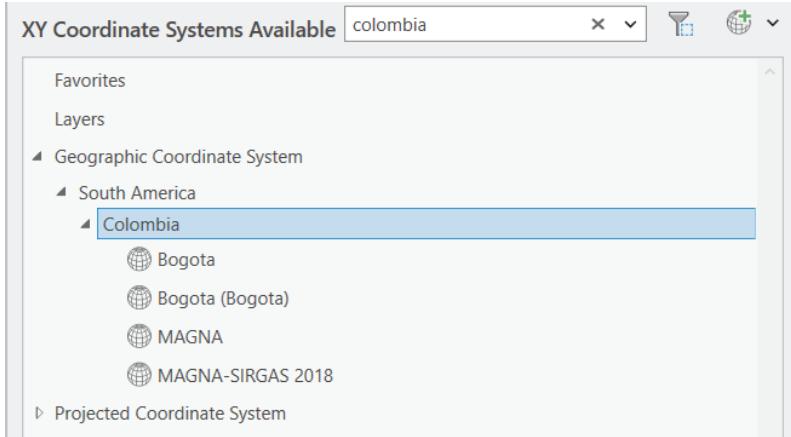
South America

Colombia

- Bogota Ciudad Bogota
- Colombia Bogota Zone
- Colombia E Central Zone
- Colombia East Zone
- Colombia West West Zone
- Colombia West Zone
- MAGNA Arauca 2007
- MAGNA Armenia Quindio 2006
- MAGNA Barranquilla Atlantico 1997
- MAGNA Bogota DC 2005
- MAGNA Bucaramanga Santander 2008
- MAGNA Cali Valle del Cauca 2009
- MAGNA Cartagena Bolivar 2005
- MAGNA Ciudad Bogota
- MAGNA Colombia Bogota
- MAGNA Colombia Este
- MAGNA Colombia Este Este
- MAGNA Colombia Oeste



La siguiente imagen muestra los sistemas de coordenadas geográficas de Colombia en ArcGIS Pro:

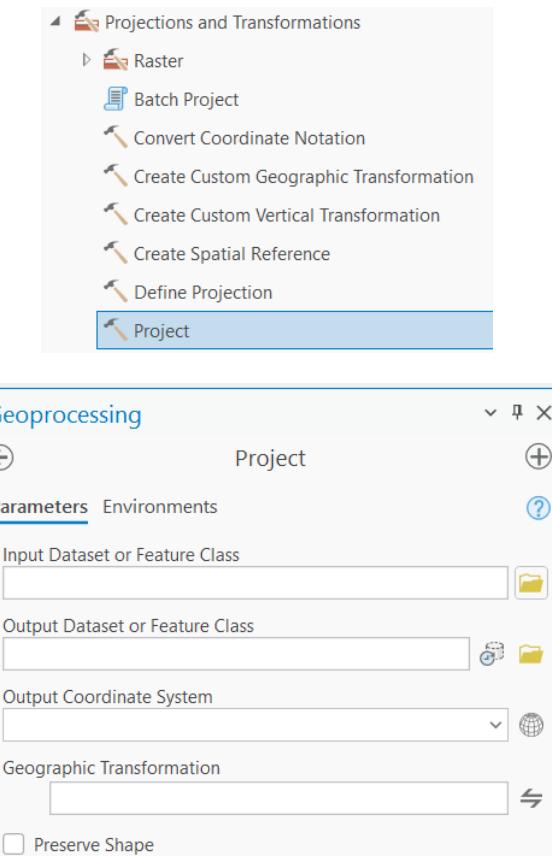


Haga una tabla en un archivo Quarto (qmd) describiendo los principales sistemas de coordenadas relacionados con Colombia. No olvide poner una columna con el código EPSG.

### 1.2.3 Transformación de sistemas de coordenadas en la caja de herramientas de ArcGIS Pro

**Primero se hará una conversión de coordenadas geográficas a planas:**

Para cambiar de sistema de coordenadas o re-proyectar se usa la herramienta Project:



Usando la herramienta “Project” Re-proyecte municipios.shp (GCS\_Bogota Zone.prj). Nombre el archivo de salida “municipios\_planas” y guárdelo como stand alone feature class (no dentro de un dataset) dentro de la File Geodatabase correspondiente a su proyecto.

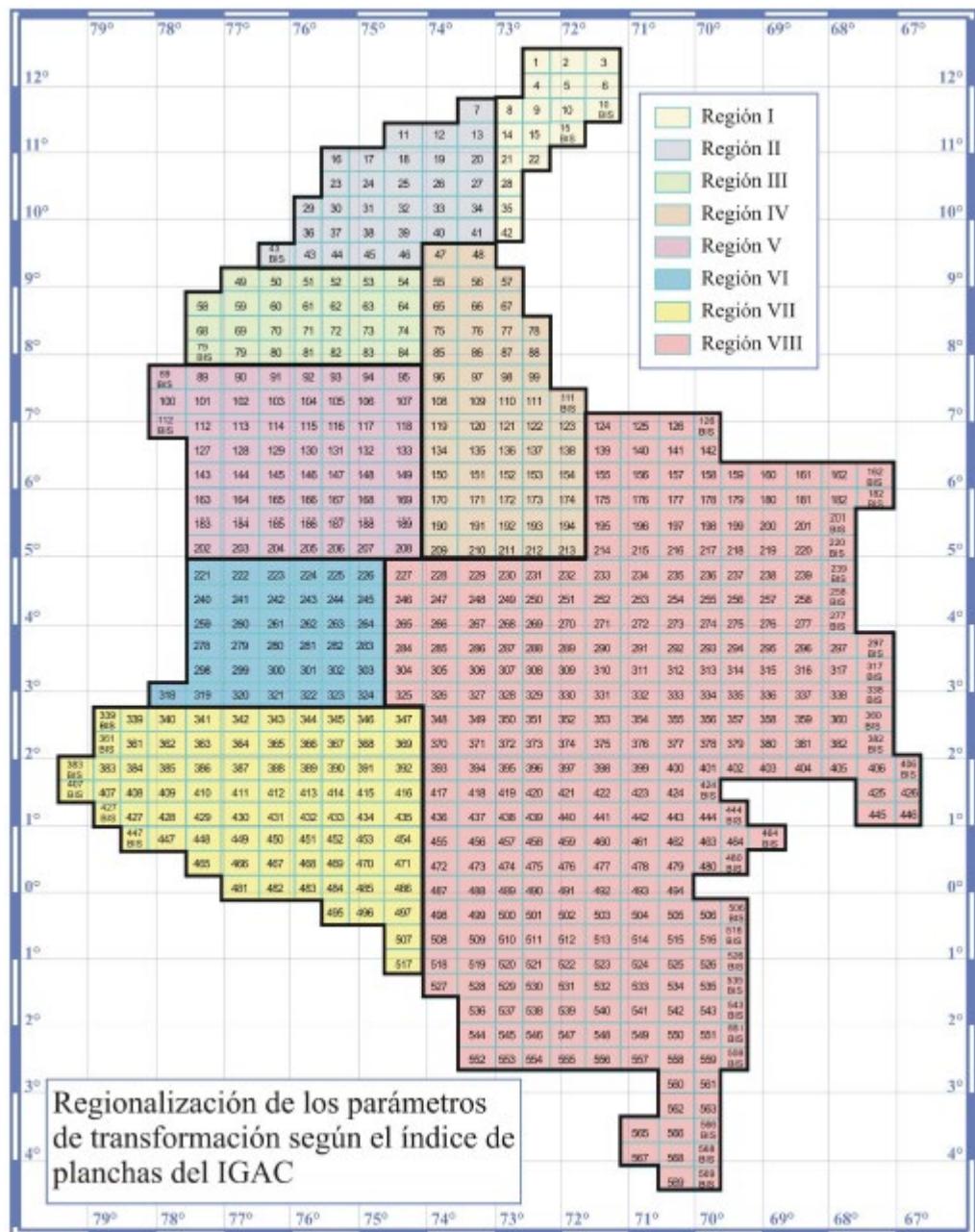
Cuando se transforma un sistema de coordenadas sin cambiar de datum, no requiere definir los parámetros de “Geographic Transformation”. Explique si este es nuestro caso en esta transformación. Describa el proceso que ejecuta la herramienta.

Verifique las propiedades del feature class resultante y explique porque en las propiedades del sistema de coordenadas menciona información correspondiente a coordenadas geográficas y coordenadas planas.

Repita el proceso, pero ahora transforme Cundinamarca.shp a coordenadas Magna-Sirgas Bogotá.

A continuación, se define el proceso de transformación geográfica (opción “Geographic Transformation” en la herramienta “Project”) o cambio de datum.

Seleccione la región VIII que es donde está ubicada Bogotá. Asigne al producto obtenido el nombre de “municipios\_magna”. El tipo de



Los métodos de transformación existentes son:

- Método Tridimensional de Similitud de Helmert, también conocido como **MB**: Modelo Molodensky-Badekas, o **BW**: Bursa-Wolf, solo que le aplican algunas pequeñas variaciones. Después de hacer esta transformación aplican otra del tipo “transformación bidimensional afín”. Cuando el conjunto de datos no cuenta con componente vertical (altura elipsoidal o sobre el nivel medio del mar) no se puede aplicar Helmert o Molodensky-Badekas, entonces se aplica una “transformación bidimensional” a partir de coordenadas elipsoidales.

En el software ArGIS existen dos posibilidades:

- CF - Coordinate Frame: Que tiene en cuenta los siguientes parámetros: dx, dy, dz, rx, ry, rz, s.
- MB – Molodensky/Badekas: Que tiene en cuenta los mismos parámetros anteriores y los siguientes adicionales: xcr, ycr, zcr.

Parámetros de Traslación (3 parámetros). Indican cuánto hay que desplazar el centro de un sistema para que coincida con el otro:

- dx: Traslación en el eje X (metros).
- dy: Traslación en el eje Y (metros).
- dz: Traslación en el eje Z (metros).

Parámetros de Rotación (3 parámetros). Corrigen la falta de paralelismo entre los ejes de los dos sistemas.

- rx: Rotación alrededor del eje X (segundos de arco).
- ry: Rotación alrededor del eje Y (segundos de arco).
- rz: Rotación alrededor del eje Z (segundos de arco).

Parámetro de Escala (1 parámetro). Corrige la diferencia de tamaño relativo entre las redes geodésicas.

- s: Factor de escala o Diferencia de escala (partes por millón - ppm).

Parámetros del Centro de Rotación (3 parámetros - Modelo Molodensky-Badekas). Definen el punto fijo (baricentro) sobre el cual se aplican las rotaciones.

- xcr: Coordenada X del centro de rotación (metros).
- ycr: Coordenada Y del centro de rotación (metros).
- zcr: Coordenada Z del centro de rotación (metros).

### Ventaja de usar 10 parámetros (Molodensky-Badekas) sobre 7 (Bursa-Wolf)

La principal ventaja es la **estabilidad matemática y la precisión local**. Te lo explico con estos puntos clave:

- **Reducción de la Correlación:** En el modelo de 7 parámetros (Bursa-Wolf), las rotaciones se calculan respecto al **centro de la Tierra**. Si estás transformando datos de una zona pequeña (como Colombia), cualquier pequeño error en la rotación se amplifica enormemente debido a la enorme distancia al centro terrestre. Al usar 10 parámetros, las rotaciones ocurren en el "centro" de tu zona de estudio, lo que hace que los cálculos sean mucho más robustos.
- **Independencia de los Parámetros:** En el modelo de 10, las traslaciones (dx, dy, dz) y las rotaciones (rx, ry, rz) se vuelven prácticamente independientes. En el de 7, están "amarradas" entre sí; si cambias un valor de rotación, el software tiene que compensar las traslaciones de forma artificial.
- **Mejor ajuste en redes locales:** Como el IGAC utilizó el modelo de Molodensky-Badekas para definir MAGNA-SIRGAS, usar los 10 parámetros te asegura que estás replicando exactamente la misma lógica matemática que el instituto oficial. Es la única forma de garantizar que el error residual sea el mínimo posible al pasar de Datum Bogotá a MAGNA.

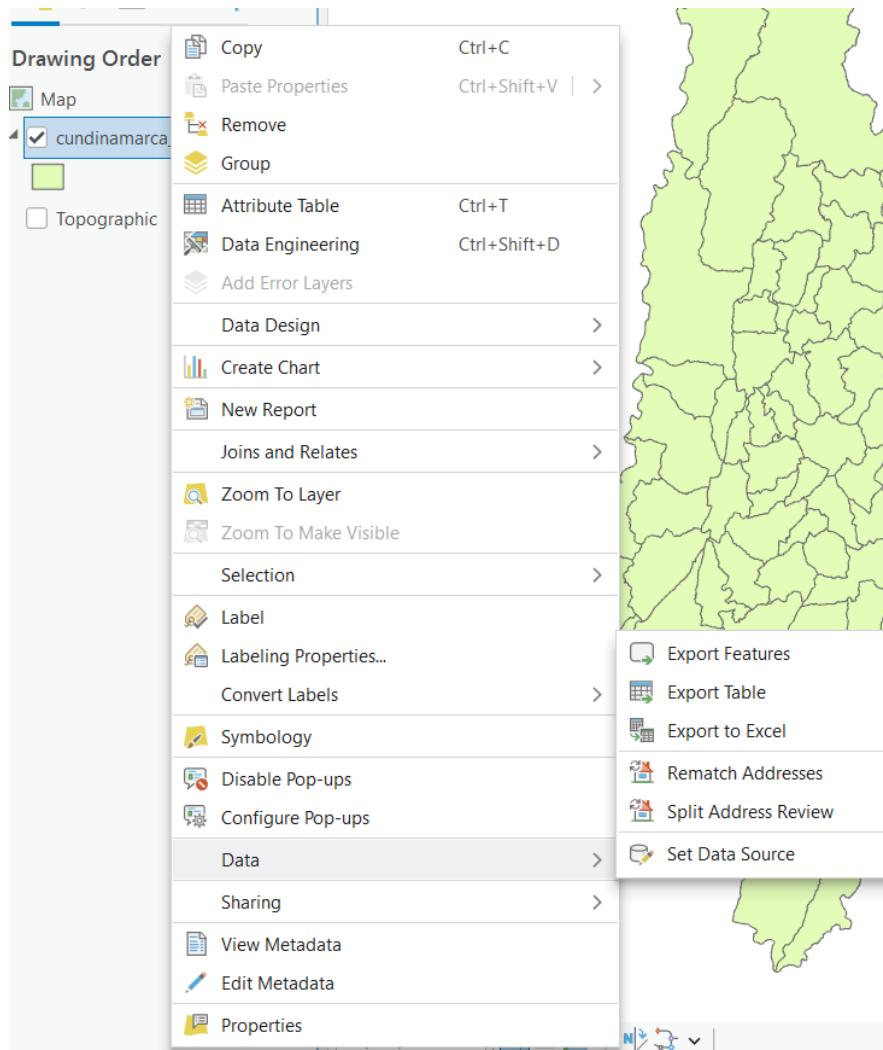
**En resumen:** Los 3 parámetros adicionales (xcr, ycr, zcr) actúan como un "ancla" que permite que la rotación sea precisa para tu región, evitando que los datos "salten" o se desplacen de forma errática por errores de cálculo global.

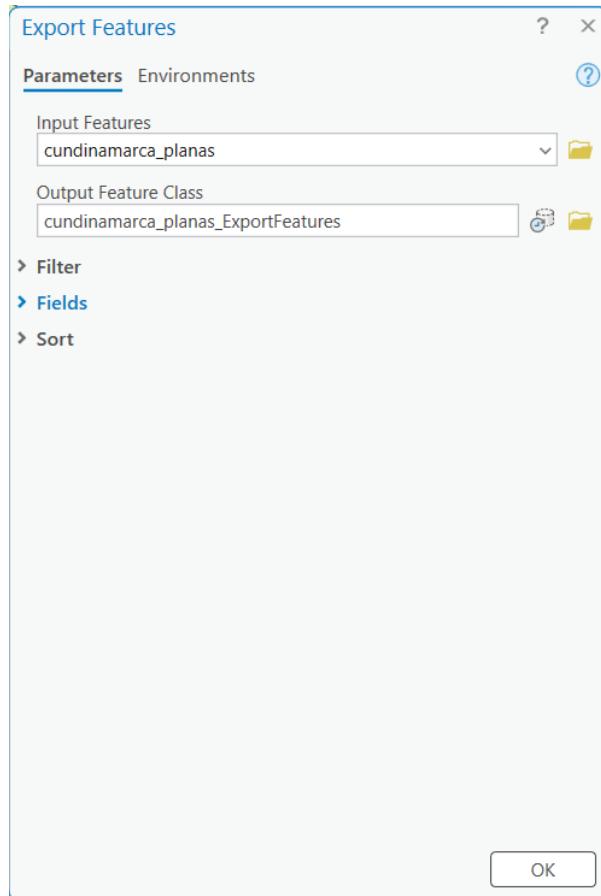
Adicionalmente, por la documentación encontrada en la página MAGNA-SIRGAS del IGAC, se puede seleccionar MB por cuanto es el único que mencionan en la documentación técnica (documentos\_parametros\_oficiales.pdf)

Compare las coordenadas de un mismo punto (un punto común) entre los archivos "municipios\_planas" y "municipios\_magna" y comente ¿De cuántos metros es esa diferencia? Note que debe hacer esto en dos mapas diferentes dentro de ArcGIS Pro, porque si lo hace en el mismo mapa, el sistema realizará Proyección al Vuelo. En cada caso asegúrese que el sistema de coordenadas del mapa sea el mismo de cada uno de los archivos a comparar)

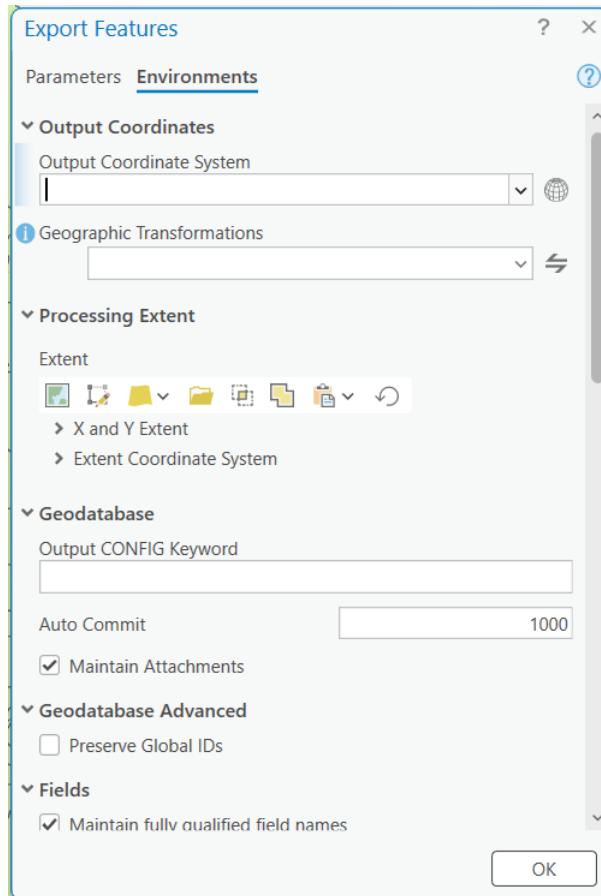
#### 1.2.4 Usando la Proyección al Vuelo

Cargue una capa geográfica que tenga definida la proyección en un mapa con un sistema de coordenadas diferente. Esto forzará a ArcGIS a realizar Proyección al Vuelo. Una vez se asegure que existe la proyección al vuelo, exporte el layer desplegado a una nueva capa geográfica, dando clic derecho sobre la capa, luego clic en “data” y finalmente “export features”





En la sección “Environmets” podrá definir el sistema de coordenadas de salida y la transformación geográfica (si aplica):



En el sistema de coordenadas de salida puede seleccionar “Current Map” para formalizar en un archivo la re-proyección al vuelo que se está ejecutando actualmente en la memoria para poder mostrar la capa en otro sistema de coordenadas.

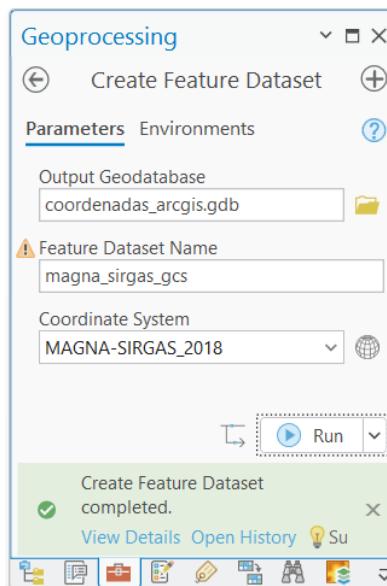
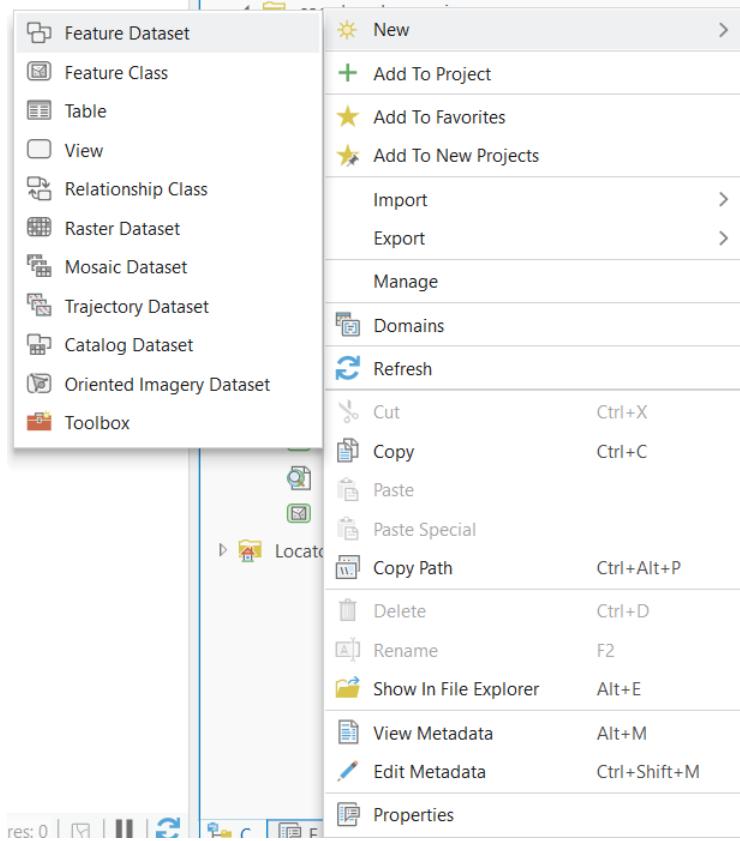


#### 1.2.5 Conversión de sistemas de coordenadas importando datos a una geodatabase

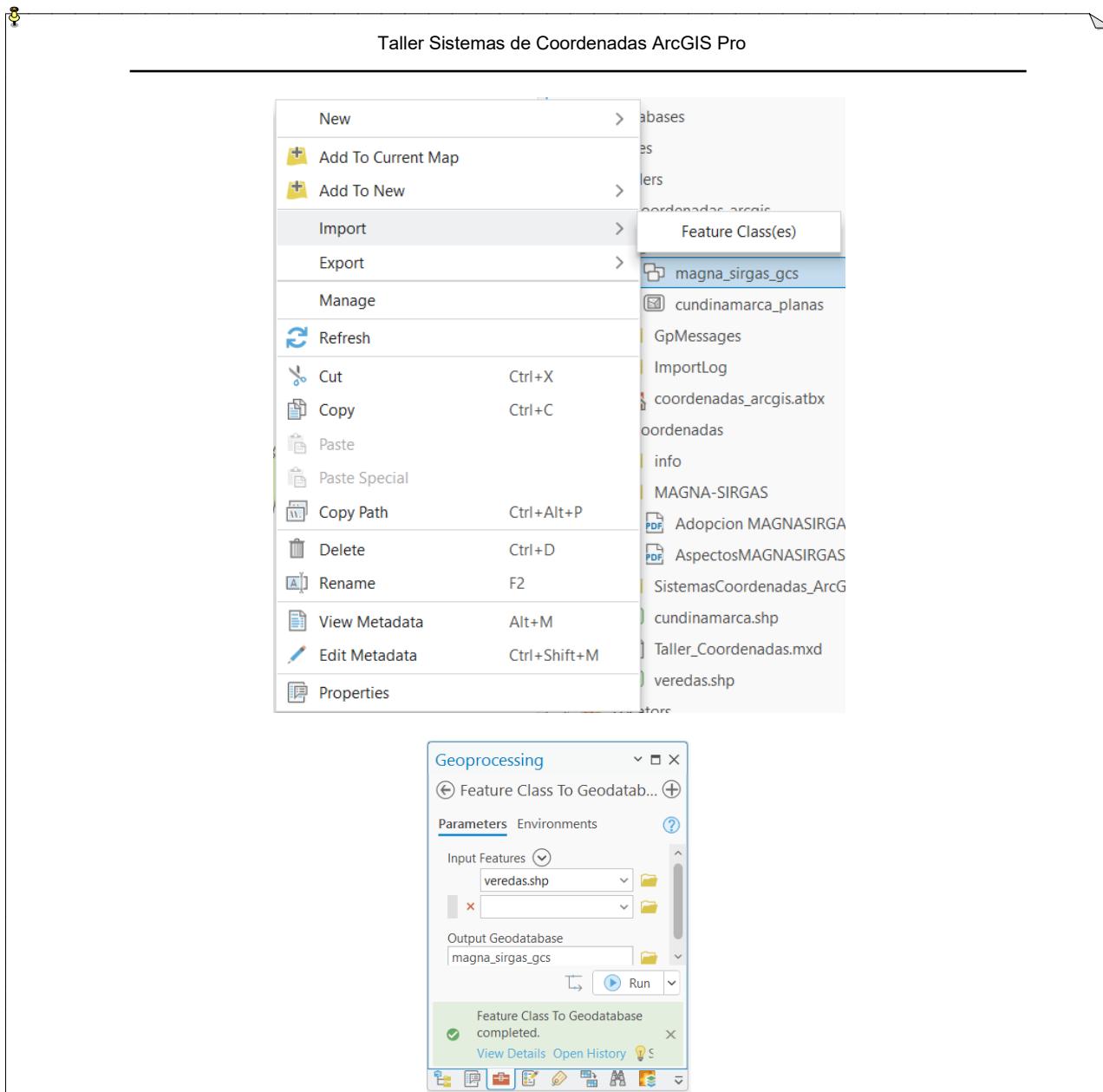
Otra forma de realizar la conversión de sistemas de coordenadas es importar datos a una geodatabase con un sistema de coordenadas diferente.

**Ahora llevaremos la capa de veredas de coordenadas planas a geográficas importándola a la geodatabase del proyecto**

- En la geodatabase del proyecto, cree un Dataset (“magna\_sirgas\_gcs”) en coordenadas geográficas MAGNA-SIRGAS.



- Y desde el dataset (click derecho, Import -> Feature Class(es)) importe el shapefile veredas.shp



#### 1.2.6 Generar una capa de puntos a partir de una lista de coordenadas

Use el archivo `coordenadas_wkid_11117_magna_sirgas_east_central.txt` para crear una capa de puntos y guardarla en el Dataset “`magna_sirgas_gcs`” de la geodatabase. Use la herramienta “XY

