

## Mesh4BIM – Convert Point Cloud to Mesh

**Autor: Gorosito, Luciano Sebastián (1)**

(1) Project Manager - lucianogorosito@hotmail.com

**Currículum autor:** Ingeniero Civil, recibido en la UTN Venado Tuerto. Trabajó 8 años en un estudio de Arquitectura, realizando tareas de dibujo, presupuestos y cálculo estructural. Luego trabajó 3 años en un estudio de Ingeniería, implementando BIM para estructuras de Hormigón Armado y prefabricadas. Actualmente trabaja como Project Manager en ENGWorks, una empresa que brinda servicios BIM para Argentina y el exterior.

**Objetivos de aprendizaje:**

- Entender los problemas del trabajo con Nubes de Puntos y Revit
- Aprender sobre el procesado de Nubes de Puntos
- Mejorar la performance de trabajo utilizando mallas poligonales.

**Tema Exposiciones Temáticas:** Procesos BIM

**Audiencia Objetivo:** profesionales de la construcción, Arquitectos, Ingenieros, modeladores BIM, Project Managers, BIM Managers.

**Palabras claves:** relevamiento, mallas, modelo

## 1. INTRODUCCIÓN:

### El problema actual de las nubes de puntos y BIM

Actualmente en la industria de la construcción se están utilizando escáneres laser para realizar los relevamientos de distintas obras, especialmente de grandes construcciones. Con estos escáneres laser se obtienen relevamientos de una altísima precisión, y el resultado es una nube de puntos (Point Cloud) compuesta de millones de puntos, que representan las formas geométricas exactas de la construcción relevada.

Estas nubes de puntos se almacenan en archivos que tienen un tamaño de varios Gigabytes, dependiendo de cada modelo de escáner laser. El Set de datos (Dataset) del relevamiento de una construcción puede contar con mucha cantidad de “estaciones” del escáner laser, muchas veces se trata de cientos de nubes de puntos, que juntas suman cientos de millones de puntos.

Luego interesa crear un modelo BIM a partir de estas nubes de puntos, para poder gestionar todo el ciclo de vida del edificio, desde una remodelación hasta el Facility Management. La plataforma AutoDesk Revit puede importar estas nubes de puntos, que luego son tomadas como referencia para modelar los elementos arquitectónicos y estructurales del modelo BIM. Sin embargo la performance de trabajo con cientos de millones de puntos es muy baja, y el software se vuelve inestable pudiendo causar cierres inesperados. Redibujar vistas de trabajo puede tomar varios minutos, incluso para computadoras de última generación.

Otro problema que se presenta es que las nubes de puntos no proporcionan certezas acerca de las formas geométricas de los componentes del proyecto, y pueden crearse confusiones debido a su variada densidad y a la baja performance de trabajo.

### Objetivos de este trabajo

Se propone procesar los set de datos de nubes de puntos y convertirlas en mallas poligonales, reduciendo los cientos de millones de puntos a sólo decenas de miles de puntos, y reduciendo el tamaño de los archivos de trabajo de varios Gigabytes a sólo decenas de Megabytes.

El procesamiento de las nubes de puntos se realizará con el software MeshLab (free and open source), utilizando distintos algoritmos de sampleo y reconstrucción, y utilizando varios scripts automáticos preparados por el autor de este trabajo, que permiten que todo el proceso sea automático y en segundo plano.

Para evitar que los profesionales de la construcción tengan que procesar las nubes de puntos con complejos algoritmos y procedimientos repetidos, se ha creado un Addin para Autodesk Revit 2016 que realiza todos los procesos en segundo plano y de manera automática. Este plugin se llama Mesh4BIM.

Luego del procesamiento de las nubes de puntos se obtienen las mallas poligonales, como archivos de formato DXF, con los siguientes beneficios:

- Reducción de la cantidad de puntos y tamaño de los archivos de trabajo (Aprox 1% final).
- Formas geométricas precisas, aumentando la precisión para el modelado BIM.
- Alta performance de trabajo con AutoDesk Revit, evitando inestabilidades y cierres inesperados.

Estos archivos DXF se importan dentro de la plataforma AutoDesk Revit, como un Modelo Genérico in place. Este modelo genérico se puede cortar como cualquier otra familia del proyecto, y se utiliza como referencia base para modelar los elementos de la construcción virtual. Así se obtiene el modelo BIM del Proyecto, el cuál puede ser utilizado en todo el ciclo de vida del edificio.

## **2. NUBES DE PUNTOS EN LA CONSTRUCCION**

En la industria de la Construcción es cada vez más común realizar relevamientos con escáneres láser de las construcciones existentes, y también de las obras en las distintas fases de su construcción. Con estos equipos láser se obtienen relevamientos de altísima precisión, y el resultado es un set de datos de Nubes de Puntos, que van desde decenas a cientos de estaciones de relevamiento.

Cada Nube de Puntos está compuesta por millones de puntos, y estos escáneres láser también pueden registrar el color del punto relevado (según el modelo de equipo). Así la técnica de relevamiento tradicional, tomando mediciones de las construcciones con cintas métricas, aparatos de sonido o con estaciones totales está siendo reemplazada por esta nueva forma de relevamiento.

### **Set de Datos ASCII**

ASCII es un formato no propietario que es reconocido por la mayoría de los paquetes de software. Es un formato basado en texto simple que almacena cada punto individual como XYZ\*RGBI (donde RGB es la información de color e I es la intensidad). Los colores y la intensidad sólo están disponibles cuando el escáner los recoge. La extensión utilizada de este tipo de archivos es TXT.

### **Set de Datos PTX**

PTX es un formato de intercambio basado en ASCII para datos de Nubes de Puntos. Utiliza el concepto de escaneos separados, donde cada punto está definido en su propio sistema de coordenadas. Luego existe un “registro” de todas esas Nubes de Puntos en un solo sistema de coordenadas.

Los archivos PTX conservan toda la información del escaneo original, tal como la posición del escáner y las matrices de transformación que fueron aplicadas al escaneo en el proceso de registro. La información de la posición del escáner es muy importante cuando se quiere crear una malla poligonal desde el Set de Datos. Muchos software de análisis, incluido MeshLab, pueden leer los archivos de formato PTX.

## Set de Datos PTS

El formato PTS es llamado comúnmente como formato “tonto”, porque no tiene ninguna información del escaneo original, o informaciones del registro. En este sentido es muy similar al formato de archivos ASCII.

El formato PTS se utiliza cuando se exportan Nubes de Puntos finales, que ya fueron unificadas. Además este formato se utiliza para la importación de Nubes de Puntos en programas que no soportan el formato PTX.

## 3. PROCEDIMIENTO TRADICIONAL: POINT CLOUD TO BIM

Actualmente la plataforma AutoDesk Revit permite importar los sets de datos de Nubes de Puntos dentro de un proyecto, pero no tiene ninguna herramienta de interpretación y modelado automático a partir de Nubes de Puntos. Entonces el procedimiento tradicional consiste en tomar los puntos como referencias de modelado, tal como se realiza con un plano CAD y las referencias externas. Así se visualizan los puntos de la nube en Vistas de planta, Cortes y Elevaciones, mientras se copia su forma geométrica con las herramientas comunes del software.



*Izquierda, una Nube de Puntos. Derecha, en modelo BIM construido.*

La variada densidad de los puntos y su falta de “forma” dificultan la tarea de interpretar los bordes de las geometrías y elementos del proyecto. Todo esto crea bastantes confusiones, y deben ajustarse correctamente los rangos de las distintas vistas del proyecto.

Cada archivo de Nubes de Puntos puede tener un tamaño de más de 1 Gigabyte, y dentro de un proyecto suelen importarse cientos de archivos de este tipo. El tamaño de todos estos millones de puntos impacta negativamente en la performance de la plataforma Revit. En Vistas de planta o Elevaciones muy extensas, que muestren mucha cantidad de estaciones de nubes de puntos, el ordenador comenzará a ralentizarse y el software se vuelve inestable.

Trabajando con varias vistas abiertas al mismo tiempo, como es lo usual cuando se construye un modelo BIM, los problemas de inestabilidad aumentan, pudiendo reiniciarse el controlador de gráficos y forzando al cierre de varias de las vistas. Todos estos problemas se multiplican cuando se trabaja colaborativamente, en archivos centrales y sincronizando con un servidor local.

La mejor manera de mantener una buena performance de trabajo es ir apagando la visibilidad de las nubes de puntos por “sectores” de trabajo, al tiempo que se dejan visibles muy pocas estaciones de escaneo.

#### **4. MESHLAB**

Es un sistema avanzado de software de procesamiento de mallas 3D, que es muy conocido en los campos más técnicos de desarrollo y manipulación de datos 3D. MeshLab es gratuito y “open source”. Está orientado a la gestión y procesamiento de grandes mallas no estructuradas y proporciona un conjunto de herramientas para la edición, la limpieza, la curación, la inspección, la representación y la conversión de este tipo de mallas.

Para el procesado de las Nubes de puntos se utilizan algunos de los muchos filtros que tiene el programa, dentro de los cuales se explicarán 3 de ellos en detalle.

##### **Filtro: Poisson-disk Sampling**

Este filtro produce puntos que están estrechamente empaquetados, pero no más cerca entre sí que una distancia mínima especificada. De esta forma resulta un patrón de puntos muy natural y uniforme.

En un set de datos de un escaneo láser la nube de puntos tiene una mayor densidad cuando los puntos están más cerca del escáner láser, y menor densidad al alejarse del mismo. El filtro Poisson-disk Sampling toma como referencia los puntos existentes y crea un nuevo patrón de puntos, de densidad uniforme, con una distancia mínima especificada entre ellos.

Para poder reducir la cantidad de puntos desde millones a sólo miles, el autor de este trabajo ha establecido la distancia mínima del filtro en 5 cm, considerando que es una medida de precisión aceptable para cualquier tipo de proyecto, sin que se pierdan las formas geométricas de la nube de puntos.

##### **Filtro: Surface Reconstruction: Ball Pivoting**

El algoritmo Ball Pivoting calcula una malla de triángulos interpolando de una Nube de Puntos dada. El principio de este algoritmo es muy simple: 2 puntos forman un triángulo si una bola de un radio especificado por el usuario los toca sin contener cualquier otro punto.

Comenzando con un triángulo “semilla”, la bola pivota alrededor de un borde hasta que toque otro punto, formando otro triángulo. El proceso continúa hasta que todos los bordes accesibles han sido procesados, y luego comienza a partir de otro triángulo semilla, hasta que se han considerado todos los puntos.

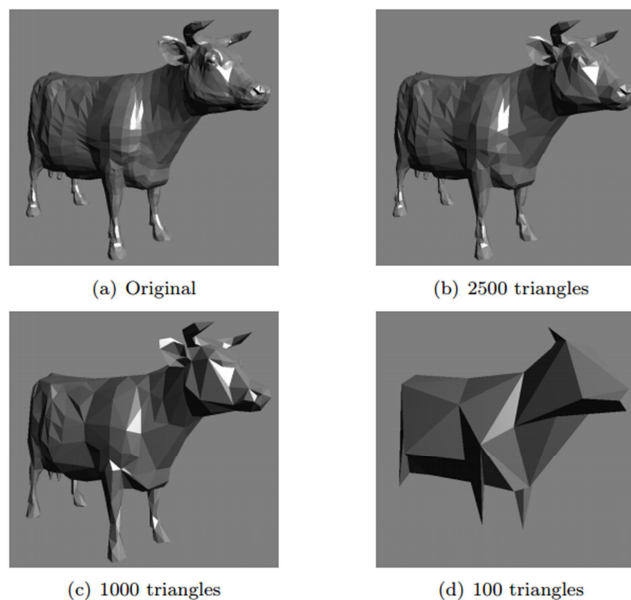
Con este filtro se pueden reconstruir mallas poligonales a partir de Nubes de Puntos en formato PTS, que no contienen otra información que los puntos.

A los sets de datos en formato PTX no hace falta aplicarles este filtro, ya que dentro de este formato vienen incluidos los triángulos formados en toda la Nube de Puntos.

## Filtro: Quadric Edge Collapse Decimation

Mesh Decimation es el proceso de eliminar vértices y caras de una malla con el fin de que resulte más liviana de almacenar en memoria.

La operación principal del filtro Quadric Edge Collapse Decimation es el colapso de bordes (Edge Collapse). Un colapso de borde es una operación que reduce un borde en un solo vértice. Es decir que 2 vértices se fusionan en uno sólo. Luego todos los bordes y caras conectadas a los vértices quitados se vuelven a conectar al nuevo vértice.



*Resultados de aplicar las distintas configuraciones del filtro*

Aplicar este filtro a una Nube de Puntos es realmente sencillo, ya que sólo se trata de especificar el número de triángulos final que necesitamos que tenga nuestra malla resultante. El autor ha establecido 2 números de triángulos específicos: 25000 triángulos como Calidad Media (MQ – 25K triangles) y 100000 triángulos como Alta Calidad (HQ – 100K triangles).

## Procesos automáticos mediante script

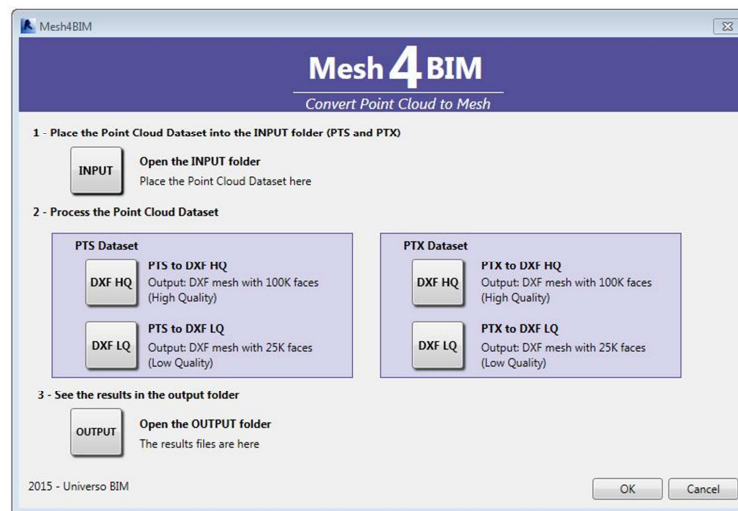
En MeshLab se pueden guardar cada uno de estos filtros con sus correspondientes seteos en un script (archivo de extensión mlx), que luego puede ejecutarse automáticamente. Con esto se evita que muchos profesionales de la construcción tengan que aprender sobre estos complejos algoritmos, y evita que estos trabajos deban repetirse para cada uno de los archivos de Nubes de Puntos del Set de Datos.

El software MeshLab también se puede correr en línea de comandos, sin necesidad de abrir el programa. A esta versión se la conoce como MeshLabServer. MeshLabServer se puede ejecutar para un set de datos ubicado en una carpeta del ordenador, indicando el archivo con el script de filtros a ejecutar. Todo esto automatiza las tareas de procesamiento de Nubes de Puntos.

## 5. NUEVO PROCEDIMIENTO: Mesh4BIM

Los distintos filtros de procesamiento de Nubes de Puntos se pueden aplicar en línea de comandos mediante MeshLabServer, de manera automática. Así el autor de este trabajo ha creado todos los scripts necesarios y los archivos BAT para línea de comando necesarios para procesar las Nubes de Puntos de formatos PTS y PTX. También ha creado un Addin para Revit 2016, de manera que los distintos procesos puedan ser ejecutados directamente desde la plataforma AutoDesk Revit.

### Addin Mesh4BIM para Revit 2016



*Interfaz del addin Mesh4BIM para procesamiento de nubes de puntos*

El Addin está dividido en 3 procesos: Input, Proceso y Output.

#### Input folder

El botón de INPUT abre una carpeta en el explorador de archivos. En esta carpeta deben colocarse todas las Nubes de Puntos del set de datos, en formato PTS o PTX. Los 2 formatos deben procesarse por separado. Si las Nubes de Puntos tienen otro formato que no sea PTS o PTX, se pueden utilizar los distintos paquetes de software que proporcionan los fabricantes de Laser scan, donde el set de datos puede obtenerse en formato PTX o PTS.

#### Process de Point Cloud DataSet – PTS Dataset

Como se mencionó anteriormente los archivos PTS son “tontos”, y no contienen ninguna información adicional sobre el escáner laser. Estos archivos se procesan con los siguientes filtros:

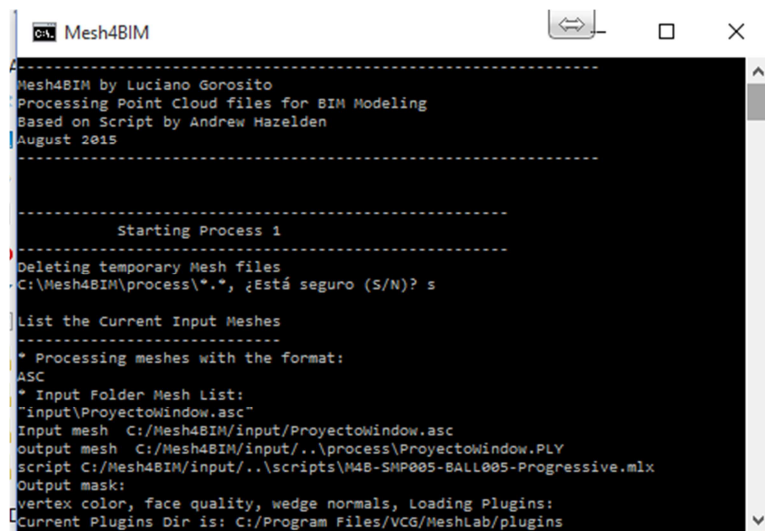


- Poisson-disk Sampling: se establece un radio de 0.05m para el disco de sampleo, y entonces el filtro crea un patrón de puntos regulares, tomando como referencia los puntos de la nube existentes. Así la Nube de Puntos se reduce de millones de puntos a sólo varios miles.
- Compute normals for point sets: A los puntos resultantes se les calcula la Normal, necesaria para poder realizar la reconstrucción de superficie de malla.
- Surface Reconstruction Ball Pivoting: este filtro se aplica varias veces, de manera progresiva para aumentar la precisión de la reconstrucción de la malla. Se comienza con un radio en 0.05m para el Ball Pivoting, y luego se realiza nuevamente con radios de 0.10m, 0.50m y 1.50m.

Aplicando estos filtros se obtiene una malla poligonal con un patrón muy regular de triángulos, que tiene un considerable tamaño de archivo. Entonces se tienen 2 opciones de calidad final de la malla: Alta Calidad con una malla de 100000 triángulos y Baja Calidad con una malla de 25000 triángulos. Para obtener este número específico de triángulos se aplica un filtro más llamado "Quadric Edge Collapse Decimation". En este filtro se establece la cantidad final de triángulos que tendrá la malla resultante.

Los archivos de resultado, con las mallas poligonales resultantes, tienen un formato DXF. Este formato DXF puede ser abierto en cualquier programa CAD, y puede importarse fácilmente en la plataforma AutoDesk Revit.

Todos los procesos se ejecutan en una ventana de comandos, que debe dejarse abierta hasta que se termine todo el proceso:



```

CA Mesh4BIM
-----
Mesh4BIM by Luciano Gorosito
Processing Point Cloud files for BIM Modeling
Based on Script by Andrew Hazelden
August 2015
-----

Starting Process 1
-----
Deleting temporary Mesh files
C:\Mesh4BIM\process\*.*, ¿Está seguro (S/N)? s

List the Current Input Meshes
-----
* Processing meshes with the format:
ASC
* Input Folder Mesh List:
"input\ProyectoWindow.asc"
Input mesh C:\Mesh4BIM\input\ProyectoWindow.asc
Output mesh C:\Mesh4BIM\input\..\process\ProyectoWindow.PLY
Script C:\Mesh4BIM\input\..\scripts\M4B-SMP005-BALL005-Progressive.mlx
Output mask:
Vertex color, face quality, wedge normals, Loading Plugins:
Current Plugins Dir is: C:\Program Files\VCG\MeshLab\plugins
  
```

*Mesh4BIM procesando una Nube de Puntos en ventana de línea de comandos*

## Output folder:

El botón de OUTPUT abre una carpeta en el explorador de archivos. En esta carpeta se encuentran los archivos DXF con las mallas poligonales resultantes, según la calidad elegida en el proceso.



### Importación de las mallas poligonales en Revit

Se crea un nuevo proyecto en la plataforma AutoDesk Revit. En una Vista 3D se crea un nuevo componente IN SITU. Se debe seleccionar una Categoría para el nuevo componente, que se sugiere que sea la Categoría “Modelo Genérico. Los Modelos Genéricos son elementos “cortables” para Revit, así las mallas poligonales podrán cortarse como cualquier otro elemento del modelo BIM. Luego en la pestaña Insertar se importan los archivos DXF con la opción Importar CAD.

Toma unos minutos que el software pueda importar estos archivos DXF, pero una vez importados la performance del programa permanece normal. Se pueden crear distintos componentes IN SITU por sectores, o todos juntos dentro de la misma familia. MeshLab trabaja con el sistema métrico, por lo tanto las mallas poligonales tienen como unidad el metro. Esto es importante a la hora de insertar cada archivo DXF dentro de Revit.

Luego de importadas las Nubes de Puntos se comienza a trabajar en el copiado de todas las geometrías, utilizando las herramientas básicas de Revit para construir el modelo BIM, sin que se comprometa la performance de trabajo.



*Malla poligonal DXF insertada como Modelo Genérico en Revit*

## 6. RESULTADOS:

Con el procesamiento de las nubes de puntos y su conversión a mallas poligonales se obtuvo:

- Reducción del tamaño de archivo, de varios Gigabytes a sólo decenas de Megabytes.
- Reducción del tamaño de la nube por sampling, de Cientos de millones de puntos a decenas de miles de caras poligonales.
- Notable aumento de la performance de Revit, evitando inestabilidades y cierres del programa

- Aumento de la precisión de las formas geométricas del levantamiento, lo que mejora la calidad de modelado a partir de la malla poligonal.

Dada la importancia de poder mantener una buena performance de trabajo en proyectos muy grandes, los cuales tienen cientos de set de datos de relevamientos, se vuelve imprescindible encontrar formas de trabajo que aseguren dicha performance para cada integrante del equipo de trabajo.

## 7. DISCUSIÓN:

Este trabajo aporta una nueva forma de trabajo más eficiente y más precisa, utilizando las nubes de puntos para la creación de un modelo BIM.

Si consideramos que los levantamientos laser están mejor justificados para proyectos de grandes dimensiones, y que estos proyectos requieren una gran cantidad de levantamientos laser para aumentar su precisión, entonces procesar las nubes de puntos es de una importancia capital.

Si las nubes de puntos no se procesan, no será posible trabajar con programas de modelado BIM con la suficiente performance y estabilidad, incluso para computadoras de las más modernas.

## 8. REFERENCIAS:

- Bernardini, Mittleman, Rushmeier, Silva y Taubin - *The Ball-Pivoting Algorithm for Surface Reconstruction* – Año 1999.
- Gustav Gahm - *Modeling and Animation: Mesh decimation* – Año 2010.
- Geospatial Modeling & Visualization - File Formats – *Exporting your data* -- <http://gmvc.cast.uark.edu/uncategorized/file-formats-exporting-your-data/>