



<b>EXPEDIENTE</b>	IMDEEA/2020/52
<b>ACRÓNIMO</b>	SUBSOLES
<b>PROGRAMA</b>	Proyectos de I+D de carácter no económico en el ámbito de la industria 4.0 en cooperación con empresas
<b>TÍTULO DEL PROYECTO</b>	NUEVAS TÉCNICAS DE MODELADO POLIGONAL MEDIANTE SUPERFICIES DE SUBDIVISIÓN PARA EL DISEÑO DE SUELAS EN CALZADO

**Entregable E2.1**  
**INFORME DE HERRAMIENTAS CAD DESARROLLADAS**  
**PARA SUBDIVISIÓN TANTO DE ALTO COMO BAJO NIVEL**

## ÍNDICE

1.	Descripción del entregable .....	3
2.	Creación de mallas de baja resolución .....	3
2.1	A partir de primitivas básicas .....	3
2.2	A partir de curvas .....	4
2.3	Importación .....	6
3.	Herramientas de selección .....	6
3.1	Modos básicos .....	6
3.2	Selección de anillos .....	6
4.	Herramientas de bajo nivel .....	8
4.1	Traslación, Rotación y Escalado .....	8
4.2	Partir .....	9
4.3	Borrar .....	9
4.4	Disolver .....	10
5.	Herramientas de alto nivel .....	10
5.1	Sobre caras: Extrude, Inset, Bevel .....	11
5.1.1	Extrude .....	11
5.1.2	Inset .....	12
5.1.3	Bevel .....	14
5.2	Partir .....	14
5.2.1	Knife manual .....	15
5.2.2	Proyección curva .....	16
5.2.3	Partir anillo .....	16
5.2.4	Ejes paralelos .....	17

## 1. Descripción del entregable

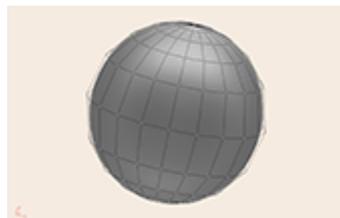
El presente entregable se describen las diferentes herramientas de software desarrolladas que nos permiten la creación de mallas de baja resolución a partir de primitivas sencillas o de curvas, así como las distintas herramientas para su posterior manipulación y modificación, tanto de bajo como de alto nivel.

## 2. Creación de mallas de baja resolución

La creación de una malla de baja resolución es el primer paso para la realización de un diseño 3D de geometrías que en nuestro caso nos permitirá obtener una superficie 3D suavizada a partir de la misma que se corresponda a una suela o piso en el diseño de componentes de calzado.

Podemos crear la malla a partir una primitiva básica (cubo, esfera, cilindro o plano) o a partir de una serie de curvas que el diseñador construye y que definen la geometría que quiere obtener.

Una vez creada, el entorno nos permite visualizar en tiempo real tanto la malla de baja resolución como la subdividida, pudiendo aplicar distintos niveles de subdivisión. Como se puede apreciar en la siguiente imagen, a mayor nivel de subdivisión, mayor nivel de suavizado obtenido.



*Malla baja resolución tipo Cubo y subdivisión en tres niveles*

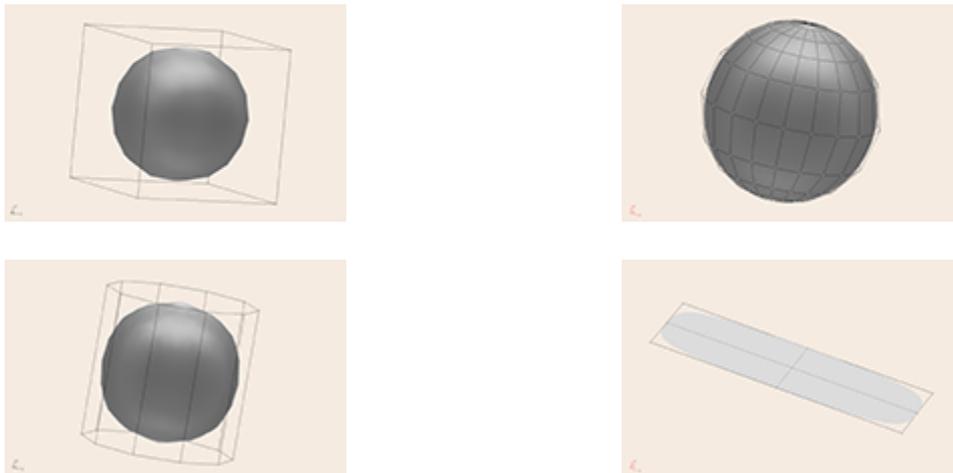
### 2.1 A partir de primitivas básicas

La forma más sencilla e inmediata de crear una malla de bajo nivel para poder trabajar es a partir de una primitiva básica, siendo las que se han implementado: cubo, esfera, cilindro y plano.

Con sólo indicar las propiedades que definen la primitiva podemos crear de forma inmediata una malla de baja resolución. Para un cubo basta con indicar sus medias alto, ancho y largo. En una esfera sólo es necesario su radio. Para un cilindro su radio, alto y plano básico (XY, XZ, YZ). Por último, para un plano su alto, ancho y plano básico.

Una vez creada la malla de baja resolución podemos hacer uso de las herramientas de bajo y alto nivel para ir modificando esa primera malla y con poco esfuerzo conseguir el diseño de un piso, optimizando de esta forma tiempo de diseño y minimizando el coste del mismo.

En la siguiente imagen podemos ver las mallas de bajo nivel creadas a partir de las distintas primitivas básicas posibles, así como sus mallas subdivididas.



*Malla baja resolución y subdividida primitivas cubo, esfera, cilindro y plano*

## 2.2 A partir de curvas

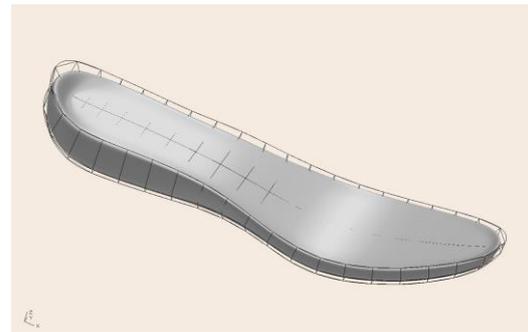
Otra forma de crear la malla de baja resolución es a partir de un conjunto de curvas básicas que definen la geometría 3D que queremos diseñar. Para ello el diseñador ha de crear previamente estas curvas partiendo del diseño de la horma, por lo que es necesario que sea conocedor de las curvas que definen un piso: curva de planta, de encaje, de cerco y de piso. Una vez creadas, a partir de unas pocas curvas (tres o cuatro) se puede obtener una geometría 3D de un piso básico que posteriormente podemos modificar con las herramientas de bajo y alto nivel para que se ajuste correctamente al diseño del calzado y añadir detalles al diseño.

Se han implementado tres métodos que definen la forma en la que se creará la estructura poligonal que una las curvas conforme se vayan seleccionando:

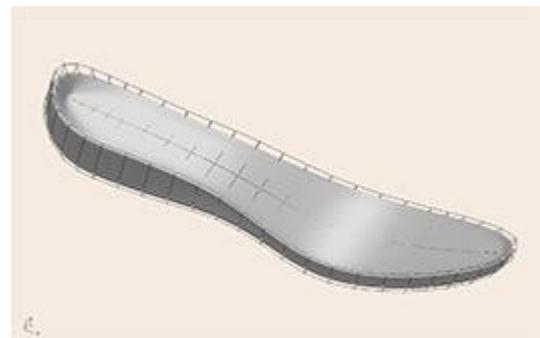
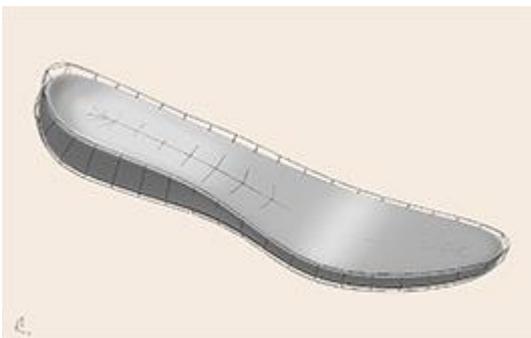
- “Más cercano”. La primera curva seleccionada se divide en una determinada cantidad de secciones, por defecto 20, y se obtienen puntos equidistantes a lo largo de la misma. Los puntos de unión con la segunda curva se buscan como el más cercano a cada uno de los que se seleccionaron en la primera. Para las siguiente y sucesivas curvas se realiza la misma búsqueda para seleccionar los siguientes puntos.

- “Normales”. Este método funciona igual que el anterior, salvo la forma de obtener los puntos de unión de la segunda curva y siguientes. En este caso se realiza a partir de la normal de la curva anterior en cada punto, con el que construiremos un plano y definiremos el punto de unión en la siguiente curva en la intersección de ésta con el plano.
- “Planos”. Este método difiere sustancialmente de los dos anteriores. En este caso se definen tres zonas en el piso: talón, zona central y punta. Para la central se establece una cantidad determinada de secciones que se definirán por planos perpendiculares a la curva. Las zonas de talón y punta abarcarán un porcentaje de la longitud de la curva y los puntos en las mismas se definen dividiendo la zona en secciones de un determinado ángulo.

En las siguientes imágenes podemos ver un conjunto de curvas que definen un piso y la malla de bajo nivel obtenida a partir de cada uno de los métodos.



*Curvas iniciales y malla creada método más cercano*



*Mallas creadas métodos normales y por planos*

## 2.3 Importación

Una última opción es la importación de una malla de baja resolución almacenada en uno de los formatos gráficos compatibles. Esto nos permite tener modelos genéricos de pisos a partir de los cuales y con unas pocas modificaciones podemos adaptar rápidamente de un modelo a otro.

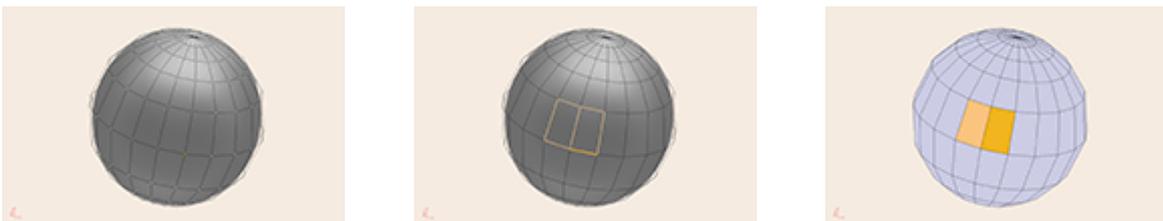
## 3. Herramientas de selección

Para poder implementar las herramientas de bajo y alto nivel se hace necesario dotar al entorno de modos de selección de los distintos elementos que componen una malla (vértices, aristas y caras), así como de un conjunto de elementos que comparten vecindad (anillos).

Una vez hecha la selección podemos aplicar las distintas herramientas a la misma modificando de esta forma la geometría de la malla de bajo nivel y consecuentemente la subdividida.

### 3.1 Modos básicos

Como un primer método tenemos el modo de selección básico en el que se puede realizar la selección de los distintos elementos que podemos encontrar en una malla: vértices, aristas y caras. Para ello se define un modo de trabajo para cada tipo de elementos, pudiendo realizar una selección simple (un único elemento) o múltiple (varios elementos) en cada uno de los modos. Los elementos seleccionados son destacados en color naranja.

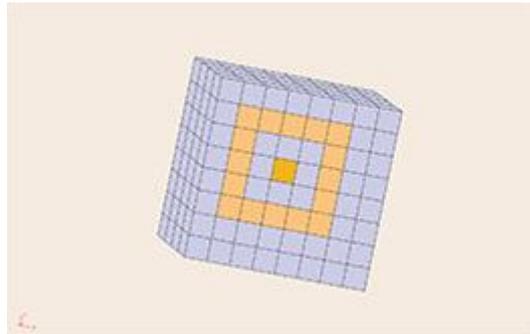


*Selección de elementos de la malla: vértices, aristas y caras*

### 3.2 Selección de anillos

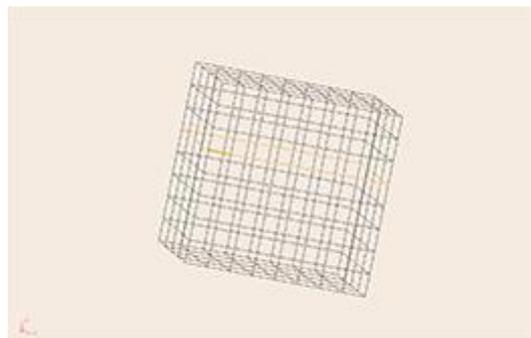
Otro modo de selección, más inteligente que los modos básicos es la selección de anillos. En este caso se parte de la selección de un elemento individual de la malla lo que provoca la selección automática de un conjunto de elementos del mismo tipo según unos criterios de vecindad y continuidad. Encontramos los siguientes tipos de anillos:

- Anillo concéntrico. El elemento inicial puede ser un vértice o una cara y el anillo lo forman los elementos situados a una determinada distancia alrededor del mismo. En la siguiente captura podemos ver el anillo concéntrico de una cara con distancia 2.



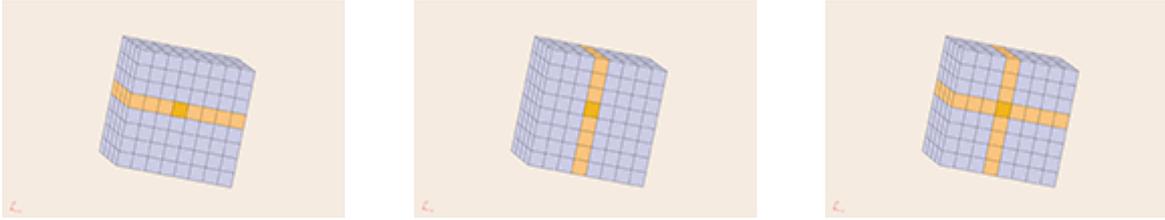
*Anillo concéntrico de una cara a distancia 2*

- Anillo aristas. El elemento inicial es una arista y se selecciona automáticamente un conjunto de aristas conectadas que partiendo de la inicial recorren la geometría hasta llegar a la arista inicial de nuevo. El paso de una arista a otra se produce cuando la primera conecta con otras tres, siendo seleccionada la del medio. Podría suceder que no se encontrase un anillo cerrado en cuyo caso el usuario siempre puede seleccionar manualmente el siguiente elemento continuándose la búsqueda de un anillo cerrado.



*Anillo aristas*

- Anillo caras. Similar al tipo anterior, pero partiendo de la selección de una cara individual de tipo quad, siendo seleccionadas sucesivas caras quads tal como se aprecia en las siguientes capturas. Se trata de caras se tienen dos direcciones posibles, por lo que podemos tener anillos horizontales, verticales o en ambos sentidos.



*Anillo caras horizontal, vertical y a ambos lados*

## 4. Herramientas de bajo nivel

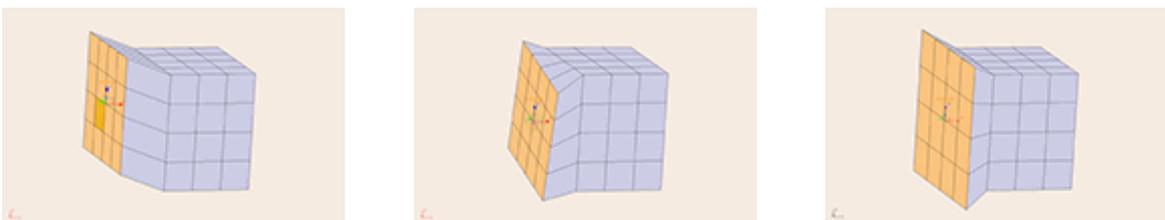
Se consideran herramientas de bajo nivel aquellas que realizan operaciones básicas sobre una selección de elementos de la malla y se usan como base para la implantación de herramientas más complejas de alto nivel.

### 4.1 Traslación, Rotación y Escalado

Como primera operación básica que podemos realizar es desplazar un conjunto seleccionado previamente de elementos de la malla, el cual podemos mover en el espacio 3D, así como rotarlos sobre su normal, o bien escalarlos. Todas estas operaciones provocan la modificación de los elementos seleccionados, sí como de sus elementos vecinos. De esta forma provocamos un cambio en la geometría 3D y consecuentemente en la malla subdividida.

Para ello basta con entrar en el modo de selección deseado (vértice, arista o cara), seleccionar los elementos a modificar, activar la herramienta deseada y aplicarla provocando un desplazamiento de esos elementos.

En las siguientes imágenes podemos ver el resultado de aplicar las distintas herramientas de traslación, rotación y escalado a un conjunto de caras de un cubo.

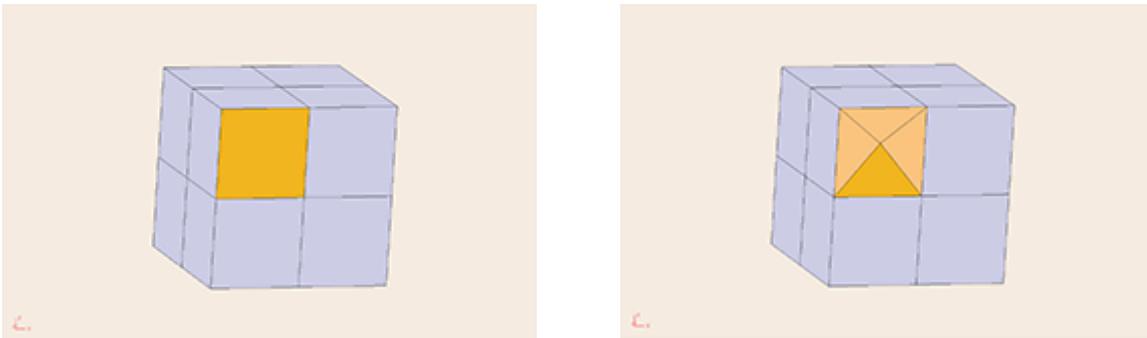


*Traslación, rotación y escalado de un conjunto de caras*

## 4.2 Partir

La operación partir a nivel básico se puede aplicar tanto a una arista como a una cara. En el caso realizarla sobre una arista lo que se hace es añadir un vértice en la posición indicada sobre la misma, dividiéndola en dos aristas y provocando que las caras a las que pertenecía la arista original pasen a tener una más. De esta forma, los triángulos pasan a ser quads, los quads a ser polígonos de cinco lados.

También es posible partir una cara por un punto de ésta añadiendo un vértice en esa posición el cual se conecta al resto de vértices de la cara mediante nuevas aristas, creando de esta forma tantas caras nuevas como vértices tenía la cara original.

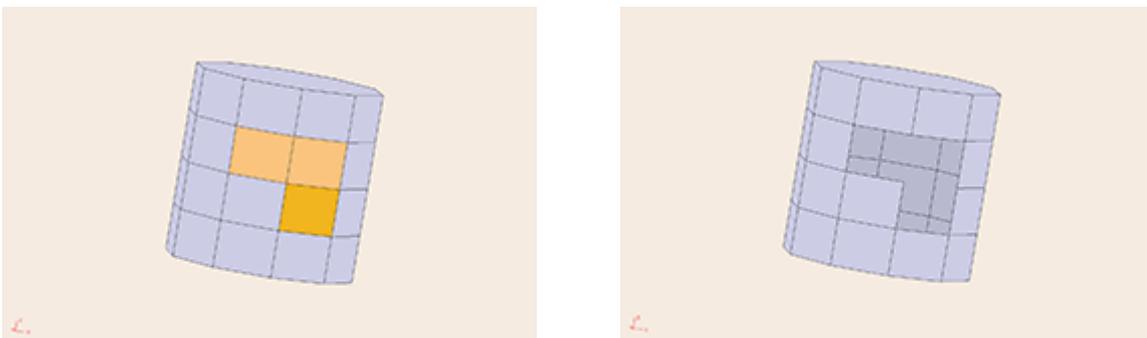


*Resultado de partir una cara de la malla*

## 4.3 Borrar

Mediante esta herramienta se eliminan los elementos seleccionados de la malla, bien sea una selección básica o un anillo. Este borrado genera un hueco en la geometría 3D, por lo que si originalmente se tenía una malla cerrada ésta pasa a ser abierta.

Hay que tener en cuenta que borrar una arista supone hacer lo mismo con las dos caras que la comparten. A su vez, cuando se trata de eliminar un vértice lo que se realiza es el borrado de todas las caras que lo comparten.



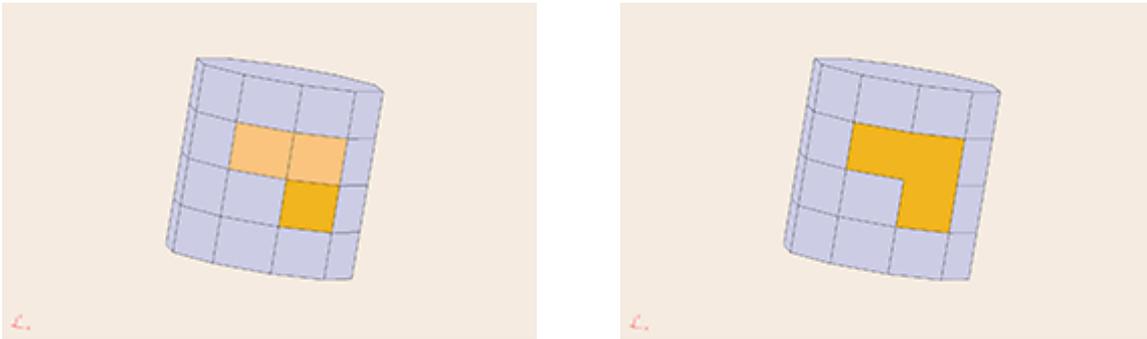
*Resultado de borrar un conjunto de cartas*

#### 4.4 Disolver

La herramienta disolver es similar a la de borrar, pero en este caso en vez de dejar un hueco en la geometría 3D, se trata de repararlo añadiendo una cara en el mismo. De esta forma conseguimos mantener las mallas cerradas.

Previamente tenemos que realizar una selección de elementos de la malla que, al igual que en el borrado, puede ser básica o tratarse de un anillo.

Disolver un vértice supone unificar todas las caras que lo comparten en una sola, mientras que disolver una arista es unificar las dos caras que lo comparten. En el caso de las caras sólo tiene sentido la operación disolver cuando se trata de dos o más caras contiguas.



*Resultado de disolver un conjunto de caras*

### 5. Herramientas de alto nivel

Las herramientas de alto nivel realizan operaciones que se basan en combinaciones de herramientas de bajo nivel consiguiendo de esta forma implementar herramientas más complejas.

Se han desarrollado las herramientas extrude, inset y bevel, que operan sobre una selección previa de caras en la malla.

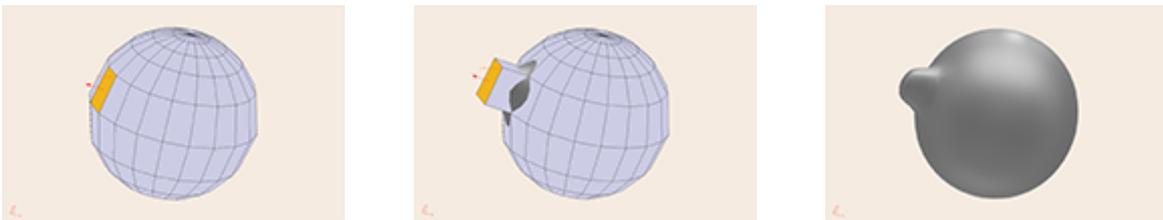
Como veremos, también se ha implementado herramientas que permiten partir la malla por distintos elementos de esta, bien de modo interactivo con la herramienta 'knife manual', o bien realizando la proyección de una curva sobre la geometría 3D. Por último, veremos herramientas que nos permiten partir un anillo de caras, así como partir creando un anillo de aristas paralelo a otro.

## 5.1 Sobre caras: Extrude, Inset, Bevel

Se trata de herramientas que nos permiten crear nuevos volúmenes a la geometría 3D que ya tenemos a partir de una selección de caras de la malla de baja resolución.

### 5.1.1 Extrude

En la herramienta extrude se duplican los vértices de la cara a extruir y se crean caras que hacen de unión de sus aristas con la geometría original al desplazarla en la dirección de su normal, tal y como se aprecia en la imagen.

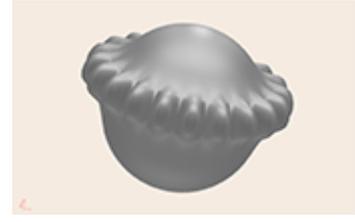
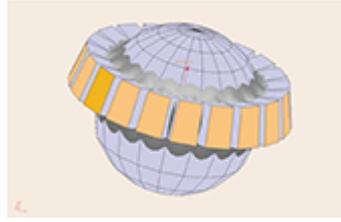
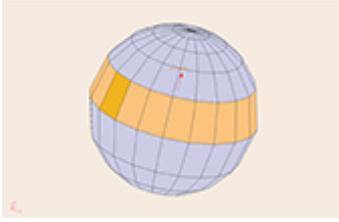


*Resultado operación extrude de una cara*

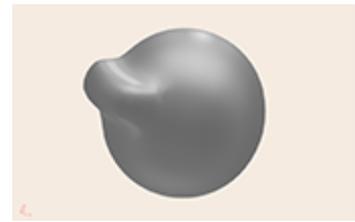
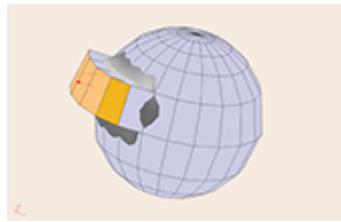
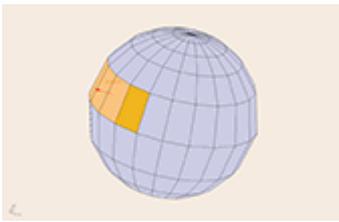
La extrusión también se puede realizar sobre un conjunto de caras. En ese caso tenemos que decidir en qué dirección queremos que se desplacen las caras. De esta forma podemos determinar que se desplace cada cara la dirección que marca su normal, o bien hacerlo todas en la misma dirección, para lo que se calcula una normal a partir de la media de las normales individuales de cada una de las caras. Por último, otra opción es agrupar las caras seleccionadas en grupos de caras vecinas y para cada grupo calcular una normal media de las normales de las caras de ese grupo.

El usuario puede cambiar en todo momento entre estos tres modos de extrusión accediendo a las opciones de la herramienta.

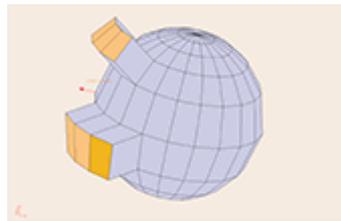
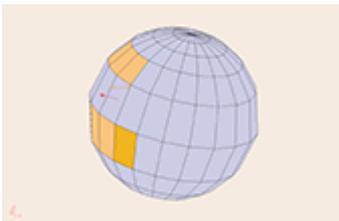
En las siguientes imágenes podemos apreciar los resultados obtenidos al aplicar la herramienta de extrusión a un conjunto de caras según el modo elegido. Se puede ver el resultado tanto en la malla de baja resolución como en la subdividida.



*Resultado operación extrude de varias caras cada una su normal*



*Resultado operación extrude de varias caras mediando la normal*

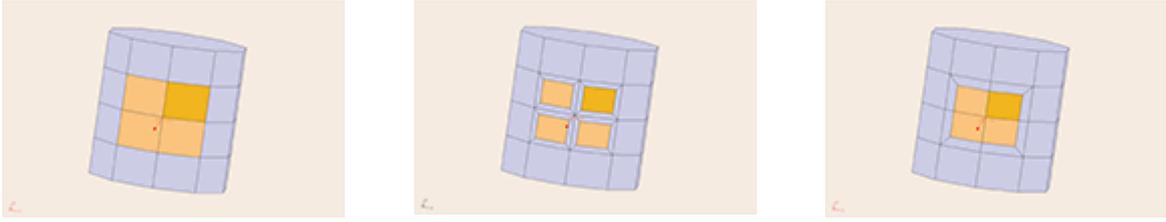


*Resultado operación extrude de varias caras mediando la normal por grupos*

### 5.1.2 Inset

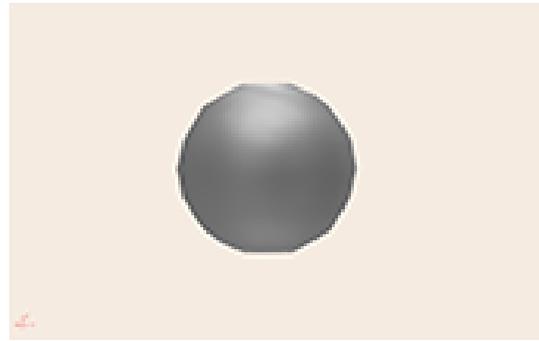
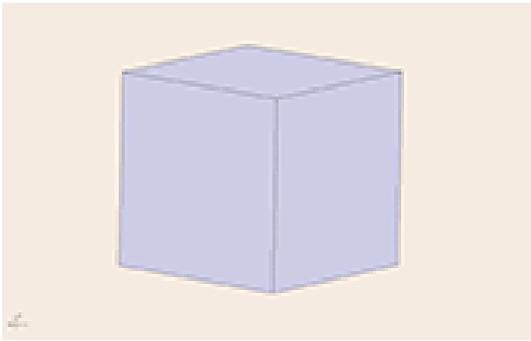
En la herramienta Inset partimos de una selección de una cara en la cual se crea un marco interno paralelo a las aristas de esta. Es decir, se crea una cara interna paralela, cuyos vértices se unen con nuevas aristas a los vértices de la cara original, creándose así nuevas caras alrededor de la nueva manteniendo la geometría 3D cerrada.

Esta herramienta también puede ser aplicada a una selección múltiple de caras, en cuyo caso podemos hacer que se haga de forma individual a cada una de las caras o de forma conjunta a aquellas caras que son vecinas. En las siguientes capturas podemos ver esta diferencia.

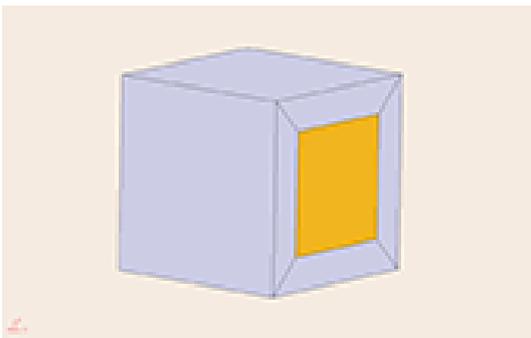


*Resultado operación inset de varias caras de forma individual y grupal*

A continuación, se muestra el resultado de aplicar la herramienta inset a una de las caras de un cubo y su efecto en la malla subdividida.



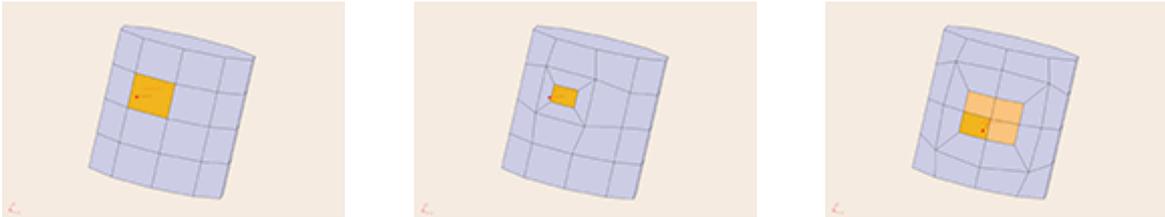
*Malla de baja resolución cubo y su subdividida resultante*



*Resultado operación inset en una de las caras del cubo*

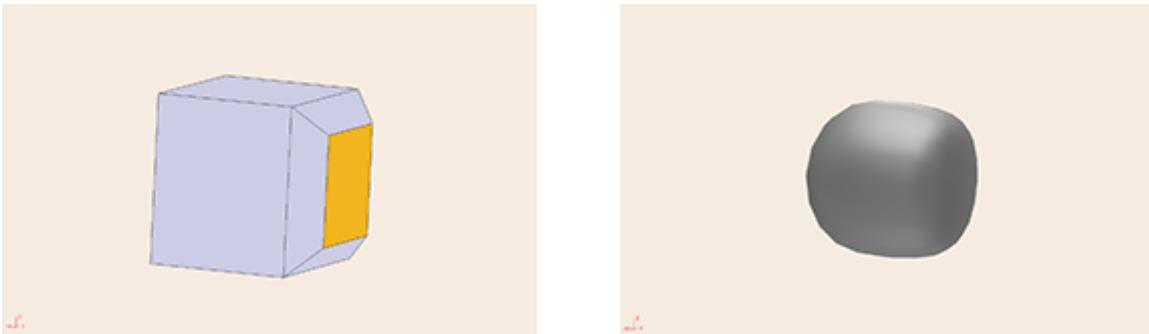
### 5.1.3 Bevel

Herramienta similar a Inset, pero en vez de crear un marco se crea un bisel. Se puede aplicar a caras individuales o a un grupo de caras vecinas. En las siguientes capturas podemos ver el bisel resultante tras aplicarlo a la selección de una cara y a la de cuatro caras vecinas.



*Resultado operación bevel de varias caras de forma individual y grupal*

Podemos ver seguidamente el resultado de aplicar la herramienta Bevel a una cara de un cubo.



*Resultado operación bevel a la cara de un cubo*

### 5.2 Partir

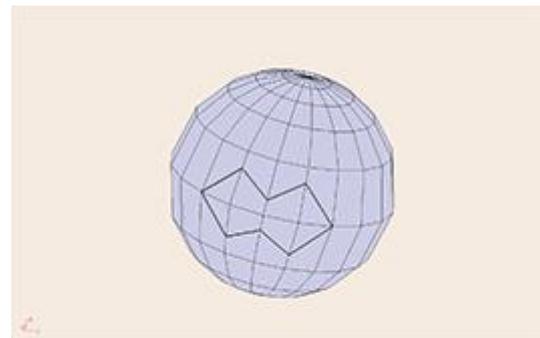
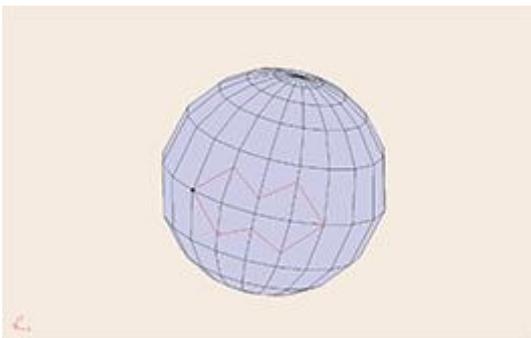
Las herramientas de alto nivel de este tipo nos permiten modificar la geometría partiendo sus caras de forma secuencial consiguiendo añadir de esta forma detalles a la misma, los cuales pueden ser, por ejemplo, extruidos posteriormente convirtiéndose en relieves.

### 5.2.1 Knife manual

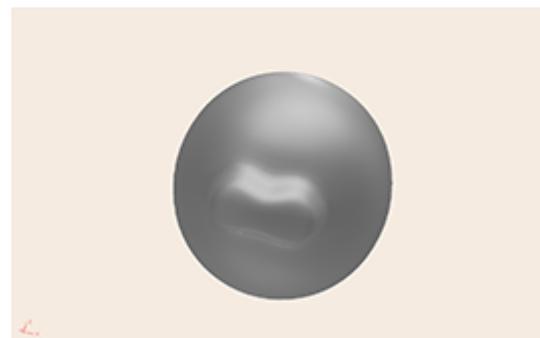
Partir manualmente o lo que se conoce comúnmente como herramienta ‘cuchillo’ permite al usuario realizar cortes personalizados sobre elementos de la geometría 3D dividiendo las caras afectadas en otras.

Con esta herramienta el usuario puede “dibujar” detalles personalizados sobre la malla, o simplemente dotar de más resolución algunas zonas de la geometría a fin de que posteriores aplicaciones de otras herramientas tengan el impacto deseado en esas zonas.

En las siguientes capturas vemos como podemos conseguir un detalle en forma de relieve aplicando la herramienta knife manual a la malla de baja resolución para posteriormente hacer una selección de las caras obtenidas y extruirlas.



*Resultado operación knife manual*



*Resultado extrusión tras knife manual*

### 5.2.2 Proyección curva

Una segunda forma de realizar cortes personalizados en la malla es proyectando sobre la misma una curva 2D o 3D que haya sido creada previamente por el usuario.

La proyección de curvas se ha de realizar en una ventana con vista 2D, y puede ser a uno o ambos lados de la geometría 3D, es decir, en la parte visible de la geometría o también su parte opuesta.

Para ello el usuario tiene que seleccionar curva que desea proyectar y hacer lo propio en la herramienta de proyección, tras lo cual el entorno se encarga de realizar la operación buscando los puntos de corte de la curva con las aristas y vértices de la malla de baja resolución, y será en esos puntos donde se irán partiendo las caras afectadas.

Previamente a la proyección el usuario puede hacer uso de la herramienta de translación a fin de posicionar la curva en la vista de tal forma que se realice el corte como más le interese.

En la siguiente captura podemos ver el resultado de proyectar una curva sobre un cubo. Como se puede apreciar se han partido caras añadiendo aristas entre los puntos de corte seleccionados (vértices y aristas) en la proyección.

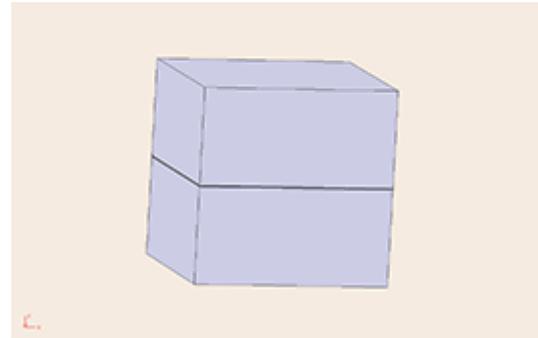


*Proyección de una curva sobre un cubo*

### 5.2.3 Partir anillo

La herramienta partir anillo consiste en dividir en dos partes simétricas un anillo de caras, añadiendo aristas entre los puntos centrales de las caras. Recordemos que los anillos se crean a partir de caras de tipo quad.

En la siguiente captura vemos como se parten por la mitad todas las caras que recorren el contorno de un cubo.



*Partir un cubo por anillo*

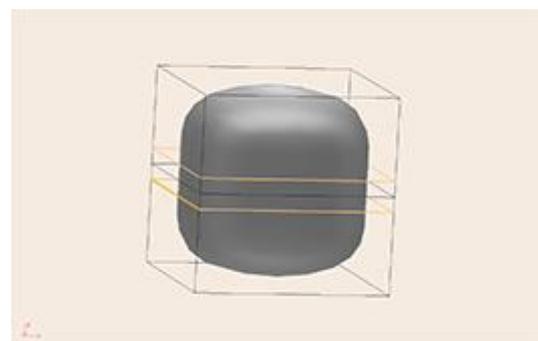
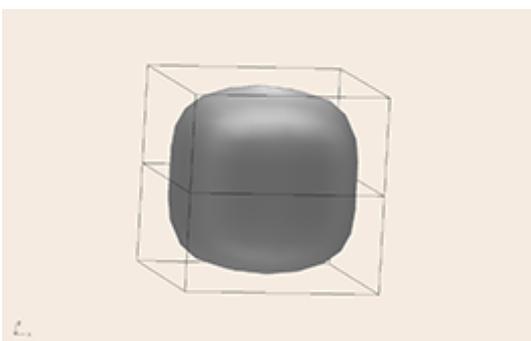
#### 5.2.4 Ejes paralelos

Como última herramienta de alto nivel tenemos la creación de ejes paralelos a partir de una selección de aristas conectadas, bien sea como una selección básica o el resultado de un anillo.

Una vez el usuario tiene la selección hecha, puede decidir moviendo el ratón hacia qué lado de las aristas quiere que se cree la paralela, o bien se hace automáticamente a ambos lados si así lo tiene seleccionado en las opciones de la herramienta.

La distancia entre la selección inicial y la paralela vendrá limitada por la longitud de las aristas de las caras que se encuentran a ambos lados de las aristas seleccionadas, siendo como máximo igual a la de menor longitud.

En las siguientes capturas vemos los ejes paralelos creados a ambos lados de el anillo central de un cubo.



*Herramienta ejes paralelos a ambos lados en un cubo*