

# TRABAJO FIN DE MÁSTER



## UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE MURCIA

### FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES Y DE LA COMUNICACIÓN

Máster Universitario en Formación del Profesorado de  
Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación  
Profesional y Enseñanzas de Idiomas

Diseño de un taller de impresión 3D para la mejora de  
la inteligencia espacial en alumnos de secundaria y  
bachillerato

Autor: Alejandro Pons Abenza

<https://youtu.be/jABJkRscR9o>

Director/a

Dr. Baldomero Imbernón Tudela

Murcia, a 06 de mayo de 2020







# TRABAJO FIN DE MÁSTER



## UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE MURCIA

### FACULTAD DE CIENCIAS SOCIALES Y DE LA COMUNICACIÓN

Máster Universitario en Formación del Profesorado de  
Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación  
Profesional y Enseñanzas de Idiomas

Diseño de un taller de impresión 3D para la mejora de  
la inteligencia espacial en alumnos de secundaria y  
bachillerato

Autor: Alejandro Pons Abenza

<https://youtu.be/jABJkRscR9o>

Director/a

Dr. Baldomero Imbernón Tudela

Murcia, a 06 de mayo de 2020



## AUTORIZACIÓN PARA LA EDICIÓN ELECTRÓNICA Y DIVULGACIÓN EN ACCESO ABIERTO DE DOCUMENTOS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MURCIA

El autor, D. Alejandro Pons Abenza ( ) como Alumno de la UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MURCIA, **DECLARA** que es el titular de los derechos de propiedad intelectual objeto de la presente cesión en relación con la obra (Indicar la referencia bibliográfica completa<sup>1</sup> y, si es una tesis doctoral, material docente, trabajo fin de Grado, trabajo fin de Master o cualquier otro trabajo que deba ser objeto de evaluación académica, indicarlo también)

**Diseño de un taller de impresión 3D para la mejora de la inteligencia espacial en alumnos de secundaria y bachillerato** (trabajo fin de máster), que ésta es una obra original y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de la Propiedad Intelectual como único titular o cotitular de la obra.

En caso de ser cotitular, el autor (firmante) declara asimismo que cuenta con el consentimiento de los restantes titulares para hacer la presente cesión. En caso de previa cesión a terceros de derechos de explotación de la obra, el autor declara que tiene la oportuna autorización de dichos titulares de derechos a los fines de esta cesión o bien que retiene la facultad de ceder estos derechos en la forma prevista en la presente cesión y así lo acredita.

### **2º. Objeto y fines de la cesión**

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad y hacer posible su utilización de *forma libre y gratuita* por todos los usuarios del repositorio, el autor **CEDE** a la Universidad Católica de Murcia **de forma gratuita y no exclusiva**, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de reproducción, distribución, comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, y transformación sobre la obra indicada tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual.

### **3º. Condiciones de la cesión**

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia permite al repositorio institucional:

- a) Transformarla en la medida en que ello sea necesario para adaptarla a cualquier tecnología susceptible de incorporación a internet; realizar las adaptaciones necesarias para hacer posible la utilización de la obra en formatos electrónicos, así como incorporar los metadatos necesarios para realizar el registro de la obra e incorporar también “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Distribuir a los usuarios copias electrónicas de la obra en un soporte digital.
- d) Su comunicación pública y su puesta a disposición a través de un archivo abierto institucional, accesible de modo libre y gratuito a través de Internet.

### **4º. Derechos del autor**

El autor, en tanto que titular de una obra que cede con carácter no exclusivo a la Universidad por medio de su registro en el Repositorio Institucional tiene derecho a:

- a) A que la Universidad identifique claramente su nombre como el autor o propietario de los derechos del documento.

---

<sup>1</sup> Libros: autor o autores, título completo, editorial y año de edición.

Capítulos de libros: autor o autores y título del capítulo, autor y título de la obra completa, editorial, año de edición y páginas del capítulo.

Artículos de revistas: autor o autores del artículo, título completo, revista, número, año y páginas del artículo.

- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio. El autor es libre de comunicar y dar publicidad a la obra, en esta y en posteriores versiones, a través de los medios que estime oportunos.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada. A tal fin deberá ponerse en contacto con el responsable del mismo.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

#### **5º. Deberes del autor**

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

#### **6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional**

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, sea con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito, y de acuerdo a las condiciones establecidas en la licencia de uso –modalidad “reconocimiento-no comercial-sin obra derivada” de modo que las obras puedan ser distribuidas, copiadas y exhibidas siempre que se cite su autoría, no se obtenga beneficio comercial, y no se realicen obras derivadas. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

a) Deberes del repositorio Institucional:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.

- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.

- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro. b) Derechos que se reserva el Repositorio institucional respecto de las obras en él registradas:

- Retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Murcia, a 06 de mayo de 2021

**ACEPTA**



Fdo. Alejandro Pons Abenza

## Agradecimientos

A mi familia, por su apoyo para la realización del máster,  
que hoy culmina con este trabajo.

“Lo que nos suceda en el futuro no depende sólo del pasado, sino de hasta qué  
punto lo comprendamos.”

*Gary Kasparov, Decimotercer Campeón Mundial de Ajedrez*



# ÍNDICE

1. JUSTIFICACIÓN .....	1
2. MARCO TEÓRICO .....	4
2.1 LA TEORÍA DE LAS INTELIGENCIAS MÚLTIPLES .....	4
2.2 LA INTELIGENCIA VISUAL-ESPACIAL .....	7
2.3 LA IMPRESIÓN 3D COMO HERRAMIENTA EDUCATIVA .....	10
2.4 FUNDAMENTOS DE LA IMPRESIÓN 3D .....	12
2.5 APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS (ABP) .....	16
3. OBJETIVOS .....	18
3.1 OBJETIVO GENERAL .....	18
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
4. METODOLOGÍA .....	19
4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	19
4.2 CONTENIDOS .....	21
4.3 ACTIVIDADES .....	21
4.3.1 Proyecto 1. Representación de piezas en 3D.....	23
4.3.2 Proyecto 2. Impresión de piezas en 3D.....	25
4.3.3 Proyecto 3. La maqueta del tobogán .....	27
4.3.4 Proyecto 4. Fabricación de un set de tablero y piezas de ajedrez.....	29
4.4 RECURSOS .....	31
4.5 TEMPORALIZACIÓN.....	33
5. EVALUACIÓN .....	34
5.1 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE APRENDIZAJE .....	34
5.1.1 Evaluación inicial de la actividad. ....	35
5.1.2 Evaluación de los proyectos. ....	36
5.1.3 Evaluación final de la actividad.....	38
5.2 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE ENSEÑANZA .....	39
6. REFLEXIÓN Y VALORACIÓN FINAL.....	43
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
8. ANEXOS .....	54
8.1 Temporalización (en semanas) planificada para el desarrollo del taller	54
8.2 Rúbrica de evaluación de los proyectos propuestos.....	55

8.3 Rúbrica de evaluación para los informes de los proyectos .....	57
8.4 Rúbrica para la evaluación del trabajo en grupo en los proyectos.....	58

## Índice de Figuras

Figura 1. Ejemplo de tarea de rotación mental. En este caso, las dos piezas son idénticas. Reproducido de los test mostrados en (Wright et al., 2008).....	9
Figura 2. Esquema de funcionamiento de una impresora 3D típica. Adaptado de (Ratto & Ree, 2012). .....	13
Figura 3. Esquema de funcionamiento de una impresora 3D basada en deposición por modelado fundido. Imagen extraída de (Mizar, 2016).....	14
Figura 4. Esquema de funcionamiento de una impresora 3D basada en sinterizado selectivo por láser. Imagen traducida al castellano y extraída de (Additively, 2020a).....	15
Figura 5. Esquema de funcionamiento de una impresora 3D basada en estereolitografía. Imagen traducida al castellano y extraída de (Additively, 2020b).....	16
Figura 6. Ejemplo de piezas 3D para efectuar su modelado en el software TinkerCAD.....	24
Figura 7. Ejemplo de tobogán de evacuación. Imagen extraída de (Industrias Agapito, 2020).....	28
Figura 8. Ejemplo de ejercicio de rotación mental en 2D. En este caso, la figura correcta es la de la izquierda, puesto que la figura de la derecha tiene la intersección entre los dos rectángulos más centralizado. Extraído de (Stoet, 2021). .....	35
Figura 9. Ejemplo de ejercicio de rotación mental 3D. En este caso, para determinar la solución correcta, el alumno rotará con el ratón sobre la pantalla cada una de las figuras hasta dar con la respuesta más adecuada.....	36

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de las sesiones teóricas del taller. ....	22
Tabla 2. Porcentajes asignados a cada una de las rúbricas para la calificación de los proyectos propuestos en la actividad.....	39

Tabla 3. Porcentajes asignados a cada uno de los proyectos para obtener la calificación final del taller de impresión 3D.....	39
Tabla 4. Cuestionario para la evaluación del proceso de enseñanza, para su valoración por parte de los alumnos.....	40
Tabla 5. Cuestionario para la evaluación del proceso de enseñanza, para su valoración por parte del profesor.....	41



## 1. JUSTIFICACIÓN

Actualmente, la enseñanza en el área de matemáticas en Educación Secundaria Obligatoria (ESO) y bachillerato, se centra en el aprendizaje de las destrezas matemáticas. Estas capacidades adquiridas, permiten al alumnado la superación de los conocimientos básicos establecidos por el estado en el currículo básico, o por las comunidades autónomas.

De manera transversal al aprendizaje de los conocimientos específicos, encontramos en ambas etapas educativas algunas destrezas de carácter transversal, como lo son la resolución de problemas, las demostraciones matemáticas, razonamiento y argumentación deductiva e inductiva, el uso de medios tecnológicos para las matemáticas, entre otros. Claramente, todos estos aspectos son muy relevantes para la formación matemática y científica del alumnado, y la mayoría de ellos son de aplicación casi inmediata a la vida cotidiana.

De todas estas capacidades transversales, es llamativo que pase desapercibida una capacidad con la que trabajamos continuamente a diario, como la inteligencia espacial. El término de inteligencia espacial fue definido por primera vez por Howard Gardner dentro de su teoría de las inteligencias múltiples en 1983. También conocida coloquialmente como “visión espacial”, podría definirse esta capacidad como la habilidad que nos permite observar el mundo y los objetos desde diferentes perspectivas (Gardner, 1987). Ésta es una cualidad muy apreciable por profesionales de diferentes sectores como la ingeniería o la arquitectura, así como profesionales de las artes visuales (pintores, escultores, etc.), publicistas, creativos, etc.

El alumnado de secundaria y bachillerato emplea esta capacidad a diario, y a menudo de manera inconsciente. Hechos cotidianos como orientarse para ir al instituto u organizarse el escritorio para prepararse para iniciar una clase suponen un ejercicio relacionado con la inteligencia espacial. Algunos alumnos presentan deficiencias en el procesamiento espacial, hecho que se refleja en dificultades, por ejemplo, para orientarse adecuadamente en una ciudad con la que ya están familiarizados. En edades más tardías, estas deficiencias pueden agravarse, pudiendo incluso llegar a dificultar actividades frecuentes como el aparcamiento de un coche. En esta actividad tan frecuente la habilidad espacial

juega un papel muy relevante, pues no sólo se trata del manejo del vehículo al realizar la maniobra de aparcamiento, sino también en la elección del hueco para realizarlo.

En las asignaturas del currículo, es una habilidad que se trabaja de forma transversal en asignaturas de las ramas de ciencias y de artes. Por ejemplo, esta habilidad está muy presente en asignaturas de matemáticas y física, donde la interpretación y representación gráfica son una herramienta fundamental para el estudio y mejor comprensión de los problemas a trabajar. Sin embargo, es notoria la falta de capacidad espacial mostrada por muchos de estos alumnos cuando llegan a los cursos finales de las etapas educativas, cuyas carencias terminan retrasando su correcto aprendizaje en estudios superiores universitarios en ingeniería, arquitectura u otras ramas científicas relacionadas (Gimenez-Mateu et al., 2010).

Por estos motivos, se propone una actividad en este proyecto con el objetivo de mejorar y suplir carencias existentes en el alumnado de secundaria y bachillerato con el desarrollo de la capacidad espacial. Para conseguir este objetivo, se plantea hacer uso de la impresión 3D como herramienta didáctica para la mejora de la capacidad espacial en el alumnado. En los últimos años, las impresoras 3D se han vuelto especialmente atractivas debido en gran parte al abaratamiento de los costes de adquisición de estos dispositivos, los materiales necesarios para la impresión con ellas, y la accesibilidad a recursos tanto educativos como digitales que favorecen el uso por parte de todo tipo de usuarios de estos dispositivos.

La impresión 3D ya ha sido propuesta como recurso educativo (K.Azcaray et al., 2018), que además puede ser muy interesante más allá del simple hecho de introducir herramientas basadas en las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) en el aula. Además de la motivación añadida por el uso de las TICs, la puesta en práctica de conocimientos teóricos que se impartirán en esta actividad para llevar los objetos que diseñen a la realidad va a estimular directamente su capacidad espacial, su creatividad y su capacidad para la resolución de problemas, entre otros aspectos.

La actividad se va a planificar como una actividad extraescolar, para ser desarrollada a lo largo de un total de 19 sesiones en las que un docente se encargará de explicar todo el proceso de fabricación requerido para imprimir un

objeto tridimensional con una impresora. Para lograr la mejora del aprendizaje en la capacidad visual-espacial de los alumnos, se va a utilizar una metodología de aprendizaje basada en proyectos, que se plantearán a lo largo de las 13 sesiones, en los que se pretende que los alumnos, en pequeños grupos de entre 2 y 4 personas, sean capaces de llevar a la práctica los conocimientos de diseño impartidos a lo largo de la actividad, y sean capaces de aprender de manera dirigida a resolver los problemas y situaciones que se van a plantear a lo largo de 2 o 3 proyectos que se propondrán.

Finalmente, la evaluación de la actividad se realizará utilizando dos instrumentos de evaluación: en primer lugar, mediante un cuestionario de autoevaluación que los alumnos rellenarán acerca de la satisfacción y el nivel de conocimientos que han logrado durante el desarrollo de la actividad y, por último, una evaluación directa del profesor/monitor de la actividad quien evaluará tanto el desarrollo de los proyectos propuestos como los resultados finales obtenidos en dichos proyectos. El objetivo de la evaluación será mejorar la propuesta de la actividad para años sucesivos y ajustar los proyectos planteados a las necesidades de los alumnos que participen en esta actividad.

## **2. MARCO TEÓRICO**

Tal y como se expone en la sección de justificación, el proyecto de innovación educativa propuesto en este trabajo se basa en la mejora de la inteligencia o capacidad visual-espacial en el alumnado cursando las etapas de ESO y bachillerato. Esta capacidad es muy importante tanto a nivel profesional como a nivel personal en el desarrollo del alumno. Para lograrlo, se propone emplear la impresión 3D como herramienta educativa.

En esta sección se presenta el marco teórico sobre el que se fundamenta el proyecto de innovación propuesto. Se ha dividido la sección en cinco partes. En primer lugar, se introduce brevemente la teoría de las inteligencias múltiples, puesto que constituye el pilar fundamental de la carencia que se pretende suplir. Después, se presenta una definición formal de la inteligencia visual-espacial, para entender desde un punto de vista científico en qué consiste esta capacidad, cómo se puede observar y cómo se puede mejorar. En el tercer punto, se presenta una revisión bibliográfica sobre el uso de la impresión 3D como herramienta educativa, comentando algunos de los estudios más relevantes aplicados al ámbito de la educación. En el punto cuatro hablamos sobre el proceso de fabricación aditiva en sí mismo, junto con una pequeña descripción de sus características y limitaciones más importantes. Finalmente, en la sección cinco de este apartado se presenta brevemente la metodología propuesta para la implementación del proyecto de innovación educativa.

### **2.1 LA TEORÍA DE LAS INTELIGENCIAS MÚLTIPLES**

La inteligencia o capacidad espacial es el aspecto fundamental que se pretende mejorar en el proyecto de innovación educativa que se propone en este trabajo. Para entender adecuadamente qué es, cómo observarla y cómo mejorarla, es interesante hacer una breve contextualización sobre cómo surge el concepto de inteligencia espacial. La inteligencia espacial es una de las diferentes capacidades descritas y observadas por Howard Gardner en el año 1983 dentro de la teoría de las inteligencias múltiples.

Según (Gardner, 2006), la inteligencia no es un concepto único y medible a través de pruebas psicométricas, sino que se trata de una red de inteligencias individuales pero entrelazadas entre sí. Para Gardner, existen en la vida multitud de diferentes problemas que resolver, para los que hay muchos tipos de

inteligencias que se adaptan para ser aplicados a la resolución de estos determinados problemas. El ser humano nace con unas aptitudes innatas que lo hacen más o menos destacable para el desempeño de determinadas tareas, lo cual indica en cuál de las determinadas inteligencias ese ser humano es más apto que en otras.

Originalmente, la teoría de las inteligencias múltiples consideraba hasta 7 inteligencias diferentes, que posteriormente se convertirían en 8, que son las siguientes:

- **Inteligencia lingüística o verbal-lingüística.** Esta inteligencia se asocia con la capacidad de procesar e interpretar la información y comunicaciones provenientes de otros interlocutores, sea en forma oral o escrita (Halil, 2017).

- **Inteligencia musical.** También conocida como “buen oído”, se podría entender como el talento que tienen los grandes músicos, cantantes y bailarines con la capacidad de escuchar, cantar y tocar instrumentos. Existen estudios que relacionan la contribución en el desarrollo de la inteligencia musical sobre el desarrollo de alguna otra de las inteligencias descritas en esta teoría. Por ejemplo, las capacidades desarrolladas por esta inteligencia pueden contribuir al desarrollo de la inteligencia lingüística en tanto que unas capacidades significativas en inteligencia musical pueden favorecer el aprendizaje de un segundo idioma en un individuo (Kusz, 2019). También hay evidencias de que la creatividad musical como habilidad está significativamente relacionada con la orientación espacial, en base a un estudio realizado sobre alumnos de entre 12 y 13 años (Hassler et al., 1985).

- **Inteligencia lógico-matemática.** Las personas con estas capacidades suelen mostrar las siguientes características: buenos con los números, buena comprensión de conceptos lógicos, disfrutan con la experimentación, la resolución de *puzles* y misterios, y suelen ser buenos en la comprensión y aplicación de conceptos científicos. No obstante, como se ha descrito anteriormente, todas las inteligencias están relacionadas entre sí, hasta el punto que incluso esta inteligencia puede estar involucrada en el aprendizaje eficaz de habilidades más relacionadas con la inteligencia lingüística, como la enseñanza del inglés como segundo idioma (Šafran, 2016).

- **Inteligencia espacial.** Esta inteligencia se podría definir como la capacidad de realizar un modelo mental en tres dimensiones del mundo o, en su defecto, extraer un fragmento de él. Por su directa relación con el proyecto de innovación propuesto, se desarrolla con más detenimiento en la sección 2.2.

- **Inteligencia corporal – kinestésica.** Es la capacidad de resolver problemas o realizar actividades utilizando el propio cuerpo del individuo. Algunos de los ejemplos más claros de profesionales con altas capacidades de inteligencia corporal o kinestésica podrían ser los deportistas, cirujanos o bailarines (Vancea, 2017).

- **Inteligencia intrapersonal.** Nos permite obtener una imagen precisa de nosotros mismos, entender nuestras necesidades y características, así como nuestras cualidades y defectos. En contraste con la inteligencia interpersonal, esta inteligencia puede ser un medio para el desarrollo adecuado del autoconcepto que el individuo tiene sobre sí mismo (Trujillo Bautista, 2018).

- **Inteligencia interpersonal.** Al contrario que la inteligencia intrapersonal, esta inteligencia nos permite entender a los demás, manejar las relaciones humanas y empatizar con los demás. Tanto esta inteligencia como la descrita anteriormente juegan un papel fundamental en el rendimiento académico de los estudiantes pre-universitarios en el ámbito científico (Okwuduba et al., 2021).

- **Inteligencia naturalista-pictórica.** Esta inteligencia fue añadida por Gardner en el año 1995. La inteligencia naturalista es la habilidad de comprender el entorno natural, disfrutarlo y utilizar esta habilidad de manera productiva (Gardner, 1999).

A la vista de la clasificación de las inteligencias propuesta por Gardner, es evidente que, aunque no todas pueden verse directamente reflejadas en los currículos de secundaria y bachillerato, todas tienen un papel muy relevante en la formación del alumnado de cara a su evolución a la etapa adulta. Además, todas las inteligencias, como ya se ha justificado, están relacionadas entre sí. La mayor parte de individuos muestran habilidad de varias de las mencionadas inteligencias, no sólo en una de ellas. En concreto, Gardner especifica que *“all humans possess certain core abilities in each of the intelligences”*, que traducido sería “todos los humanos poseen determinadas habilidades principales en cada una de las inteligencias” (Gardner, 1983, p. 28). A pesar de ello, es evidente que

unos individuos nacen con unas mayores capacidades o talentos para alguna de las inteligencias, es decir, nacen con un mayor potencial para desarrollar dichas inteligencias (podemos ver ejemplos claros en grandes músicos de nuestra historia como Mozart, quien, con tan sólo cinco años, ya componía obras musicales y las interpretaba a un altísimo mismo nivel, con el aprecio de la aristocracia y la realeza europeas). Aunque la teoría de las inteligencias múltiples ha sido criticada y cuestionada, la evidencia sugiere que existen múltiples inteligencias dentro de cada individuo (Armstrong, 1994; Gardner, 1999; Kezar, 2001).

## **2.2 LA INTELIGENCIA VISUAL-ESPACIAL**

La inteligencia visual-espacial podría definirse de manera formal como la capacidad de percibir el mundo visual de manera precisa, y/o realizar transformaciones y modificaciones basadas en percepciones, construir representaciones mentales de información visual, y utilizar estas representaciones para realizar determinadas actividades (Zimmerman & Dean, 2011). Lohman hace una definición más compacta, definiendo la inteligencia espacial o la habilidad visual-espacial como la habilidad para generar, retener recuperar y transformar imágenes visuales bien estructuradas (Lohman, 1993).

Aunque estas definiciones son precisas, y ambas se derivan de la teoría de las inteligencias múltiples comentada en la sección anterior, cabe destacar que el propio Howard Gardner remarca la existencia de ciertas diferencias entre lo que se considera inteligencia visual-espacial e inteligencia espacial, ya que el concepto de inteligencia espacial no es estrictamente dependiente de la capacidad sensorial visual de un individuo. Éste es capaz de desarrollar su inteligencia espacial sin necesidad de la vista, empleando el resto de sus sentidos (auditivo o táctil, por ejemplo) sin necesidad de un acceso directo al mundo visual (Gardner, 2006). Por lo tanto, podemos considerar que la inteligencia visual-espacial incluye una amplia variedad de habilidades, incluyendo (pero no limitadas), discriminación visual, reconocimiento, proyección, razonamiento espacial, manipulación de imágenes y duplicado de imágenes concebidas de manera interna u obtenidas externamente (Campbell et al., 1996).

Atendiendo a todas estas definiciones de inteligencia visual-espacial, es lógico pensar que la capacidad visual-espacial juega un papel importante en el rendimiento académico y, en general, el desarrollo profesional y personal de una persona durante los primeros años de su vida. Por ejemplo, podemos encontrar estudios que demuestran la existencia de una clara predicción de las habilidades de lectura en un niño en función de las habilidades espaciales que muestra en edades tempranas (Franceschini et al., 2012).

De la misma forma, se pueden encontrar estudios que evidencian una clara relación entre el nivel mostrado de estas capacidades en alumnado de secundaria y bachillerato respecto de su rendimiento en asignaturas de naturaleza científica. A lo largo de los últimos años, se han realizado diversos estudios para intentar establecer una correlación entre la habilidad visual-espacial del alumnado y su rendimiento obtenido en determinados ámbitos o áreas del conocimiento estudiados en las etapas de secundaria y bachillerato. Por ejemplo, en (Stavridou & Kakana, 2008), efectuaron un estudio sobre un grupo de alumnos en la edad de 14 años (que es la edad típica de un alumno cursando la Educación Secundaria Obligatoria en España) con el que pretenden evaluar el rendimiento de las “habilidades gráficas” que poseen los alumnos (según el autor, entendiendo las “habilidades gráficas” como el rango de habilidades cognitivas para visualizar y pensar en tres dimensiones, relacionadas con la percepción visual y la capacidad para representar el espacio, originadas en el dominio de la inteligencia visual-espacial) en relación con el rendimiento académico obtenido en las asignaturas de matemáticas y ciencias. Los resultados del estudio son interesantes y prometedores: se establece una correlación clara entre nivel de la “habilidad gráfica” de un alumno y su rendimiento académico en matemáticas y ciencias.

Establecida una clara correlación entre las capacidades mostradas en inteligencia visual-espacial y el rendimiento académico en las asignaturas del área de ciencias, es interesante buscar la mejora de las habilidades espaciales del alumno para que esta mejora se refleje directamente en una mejora significativa y perdurable en las competencias matemático-científicas del alumno. Llegados a este punto, es necesario dar respuesta a dos interrogantes que pueden ser muy relevantes para el planteamiento del propuesto proyecto de innovación:

1. Cómo medir las capacidades visuales-espaciales de un individuo.
2. Cómo mejorar las capacidades visuales-espaciales de un individuo.

Para dar respuesta a estas preguntas, nos centraremos en el planteamiento de un estudio especialmente relevante llevado a cabo en la Universidad de Oxford, publicado en el año 2008, en el que se discute cómo entrenar las habilidades relacionadas con la inteligencia visual espacial y cómo tras su entrenamiento, los sujetos del estudio mostraron un alto grado de mejora en estas habilidades (Wright et al., 2008). La principal habilidad que se mide en este estudio es la capacidad de rotación mental en objetos tridimensionales, mostrados mediante imágenes 2D. Para ello, en el estudio se efectúan 3 test diferentes con los que entrenar a los sujetos de prueba. En el primer test, denominado “tarea de rotación mental” (*mental rotation test, MRT*), se pretende medir la habilidad para comparar una pareja de figuras 2D de objetos 3D mostradas en diferentes orientaciones, en la que los sujetos deberán decidir si las dos vistas mostradas corresponden con dos objetos 3D idénticos, o por el contrario son imágenes espejo entre ellas. Un ejemplo práctico de esta prueba lo encontramos reproducido del estudio original en la Figura 1, donde se presentan dos vistas diferentes de una pieza tridimensional que, en este caso, son iguales.

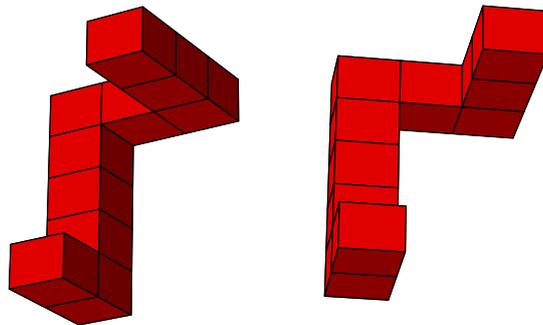


Figura 1. Ejemplo de tarea de rotación mental. En este caso, las dos piezas son idénticas. Reproducido de los test mostrados en (Wright et al., 2008).

La prueba de rotación mental descrita es posiblemente la más interesante de las aplicadas y también es la que más se va a potenciar como consecuencia del proyecto de innovación propuesto en este trabajo. En el estudio referenciado, se llevaron a cabo dos pruebas adicionales. En segundo lugar, una “tarea de doblado de papel mentalmente” (*Mental Paper-Folding Task, MPFT*), en el que

se pretende medir la habilidad para comprobar si la representación 2D de uno o varios cubos, desdoblados y unidos por sus aristas, es correcta o no es correcta. Esta prueba está basada en las pruebas visual-espaciales planteadas en (Shepard & Feng, 1972). Finalmente, se propone una tercera prueba diseñada para comprobar la capacidad del sujeto para relacionar si los significados de dos parejas de palabras, ubicadas en una imagen 2D en cada uno de sus extremos, son similares o no. Esta prueba se denomina “tarea de analogías verbales” (*Verbal Analogies Task, VAT*), y está basada en un estudio realizado en el campo de la neurología (Morrison et al., 2004).

La conclusión más importante del estudio descrito por (Wright et al., 2008) es precisamente la que buscábamos: las capacidades espaciales de una persona o individuo no sólo se pueden medir, sino que también pueden ser entrenadas y mejoradas mediante la práctica específica de tareas especialmente diseñadas para ello.

Para concluir esta sección, es necesario mencionar que el propósito de este proyecto no es plantear un trabajo de investigación sino un trabajo de innovación educativa con el propósito de mejorar las capacidades visual-espaciales en el alumnado de secundaria y bachillerato. Por lo tanto, la evaluación del proyecto, discutida en la correspondiente sección de este documento, no será tan rigurosa como en el estudio de investigación aquí descrito. No obstante, se planteará un trabajo de investigación como posible continuación del proyecto propuesto debido a la escasez de bibliografía encontrada sobre la relación entre la impresión 3D como herramienta didáctica y la mejora de las capacidades vinculadas a la inteligencia visual-espacial.

### **2.3 LA IMPRESIÓN 3D COMO HERRAMIENTA EDUCATIVA**

La denominada como impresión 3D forma parte de una familia de procesos de fabricación conocidos en la industria como fabricación aditiva. Antes de pasar a definir lo que es la fabricación aditiva o impresión 3D, y por qué su uso puede ser beneficioso para el proyecto de innovación propuesto, es interesante estudiar en qué ámbitos educativos y para qué aplicaciones se está usando esta técnica de fabricación.

En la actualidad, la impresión 3D se utiliza en diferentes ámbitos e instituciones que forman parte de la comunidad educativa. De acuerdo con (Ford

& Minshall, 2019), en la actualidad (a fecha de 2019) la impresión 3D es utilizada por escuelas, universidades, librerías y centros educativos especializados para alguno de los siguientes cinco propósitos:

1. Enseñar a los estudiantes sobre la impresión 3D.
2. Enseñar a los docentes sobre la impresión 3D.
3. Como tecnología de apoyo a la enseñanza.
4. Para producir artefactos que ayuden a la enseñanza.
5. Para crear tecnologías de accesibilidad.

En esta clasificación, nuestro proyecto de innovación estaría englobado en el punto 3, como tecnología de apoyo a la enseñanza, puesto que el objetivo principal de la actividad propuesta está relacionado con la mejora de la capacidad espacial del alumnado. De forma transversal, también podría considerarse como un proyecto clasificado en el punto 1, enseñar a los estudiantes sobre la impresión 3D, ya que, aunque no es el objetivo principal, el alumnado deberá comprender y dominar los principios básicos por los que se rige la impresión de objetos 3D mediante un proceso de fabricación aditiva.

En lo relativo al uso específico de la impresión 3D en los centros educativos, (Bull et al., 2014) presenta desde un punto de vista de un currículo orientado hacia la ingeniería, cómo la realización de proyectos que requieren de la construcción de un prototipo físico, como el que se puede conseguir basado en técnicas de impresión 3D, puede proporcionar los fundamentos necesarios para una mejor comprensión de las matemáticas y las ciencias. En otras áreas más específicas, por ejemplo, en química, se ha usado la impresión 3D como medio de apoyo a la enseñanza y como elemento motivador para el aprendizaje. En (Chery et al., 2015), se presenta un estudio en el que dos grupos de estudiantes de décimo grado (equivalentes al cuarto curso de ESO en España) aprendieron la estructura del átomo, un concepto fundamental de la química, mediante el diseño de una actividad empleando la impresión 3D como medio motivador de la enseñanza. Uno de los grupos aprendió los mismos conceptos empleando los procedimientos tradicionales, y fue utilizado como grupo de control. Los resultados del estudio mostraron que el grupo que se había valido de la impresión 3D mostraba un conocimiento mucho más sólido en comparación con el grupo de control, por lo que el uso de la impresión 3D fue muy beneficioso.

También es posible emplear la impresión 3D como medio para el aprendizaje de conocimientos más abstractos, como la programación de código para hacer software. Por ejemplo, en (Roscoe et al., 2014), se emplea la impresión 3D junto con otras estrategias como el uso de videojuegos y la construcción de robots, para enseñar lo que en la literatura se conoce como “pensamiento computacional”, concepto referido a los procesos de pensamiento involucrados en la expresión de soluciones como pasos o algoritmos que pueden ser trasladados a una computadora (Selby & Woollard, 2013). Otro ejemplo del uso de la impresión 3D como medio para el aprendizaje de otras habilidades lo encontramos en (Mahil, 2016), donde los alumnos aprenden a diseñar y planificar una ciudad mediante un juego de construcción interactivo, denominado *Kidville*.

Aunque estas son sólo algunas de las muchas referencias a proyectos de innovación educativa que podemos encontrar que utilizan la impresión 3D como medio o fin para el aprendizaje, una conclusión clara que se puede extraer de estos estudios es que la impresión 3D es una herramienta educativa muy útil para el aprendizaje de conocimientos, habilidades y destrezas desarrolladas en áreas de naturaleza científica, como matemáticas, física, química, ingeniería, etc.

## **2.4 FUNDAMENTOS DE LA IMPRESIÓN 3D**

Como ya se ha descrito en la sección anterior, la impresión 3D forma parte de la familia de procesos denominados fabricación aditiva. Aunque su uso en los inicios de la tecnología era mayormente propietario y militar, fue comercializado por primera vez y abierto al público en el año 1980 (Holzmann et al., 2017). Desde entonces, la fabricación aditiva se utiliza ampliamente en diferentes ámbitos industriales, como en medicina (Q. Yan et al., 2018), ingeniería aeroespacial (Joshi & Sheikh, 2015), automovilismo (Nichols, 2019) e incluso la industria de la preparación alimenticia (Mantihal et al., 2020).

Las técnicas de fabricación aditiva basadas en impresión 3D, en comparación con otras técnicas tradicionales, son muy interesantes para la industria debido a su versatilidad, flexibilidad, capacidad de personalización, costes reducidos y tiempos cortos de producción (Tofail et al., 2018). De hecho, son estas dos últimas características las que más suelen aprovecharse en la industria, ya que permiten la realización de prototipos para su visualización física

con el objetivo de realizar pruebas y optimizaciones previas a la preparación de un modelo final de dicha pieza (Bak, 2003; Macdonald et al., 2014).

La fabricación mediante impresión 3D se basa en el principio de construcción de la pieza final mediante un proceso de adición capa a capa. Para entender adecuadamente el proceso de funcionamiento, podemos basarnos en el esquema mostrado en la Figura 2. El punto de partida es una pieza 3D para su fabricación mediante una impresora 3D. Este modelo puede ser un objeto físico de nuestro entorno, o podemos modelarlo mentalmente a partir de una imagen 2D. El segundo paso consiste en trasladar el modelo base a un software de diseño asistido por ordenador (*Computer Aided Design, CAD*), sobre el cual se trabaja la preparación del modelo para la impresión. Posteriormente, se configura el laminado del objeto, cuyas características, (material de impresión, dimensiones máximas, espesor de capa, precisión, etc.) dependerán del hardware del que disponga la impresora 3D que se va a utilizar. Finalmente, en el último paso, enviamos el fichero generado con el modelo preparado para su impresión al hardware de la impresora 3D, donde automáticamente ésta lanzará la impresión del objeto contenido en el fichero. Una vez terminada la impresión, se efectúa la retirada del modelo de la plataforma de impresión, para poder emplearlo en otras actividades o tareas para las cuales ha sido concebida la impresión del objeto.

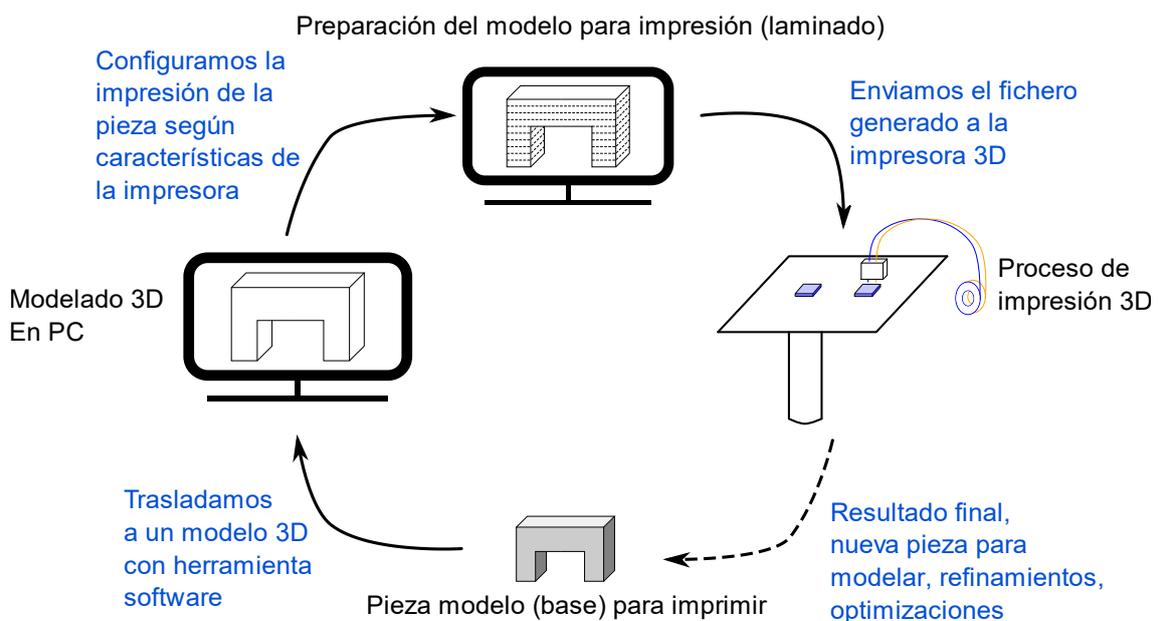


Figura 2. Esquema de funcionamiento de una impresora 3D típica. Adaptado de (Ratto & Ree, 2012).

El proceso de impresión 3D es relativamente sencillo, aunque existen algunas limitaciones y consideraciones que deben ser tenidas en cuenta a lo largo de todo el proceso y que serán mostradas a los alumnos durante el desarrollo del proyecto de innovación propuesto. Por motivos de espacio, todos los detalles no se incluyen aquí.

Sin embargo, sí que es destacable mencionar que, en función de los materiales empleados para la fabricación de la pieza 3D, podemos distinguir entre tres tipos de fabricación, de entre los cuales, es el primero de ellos el que se utilizará en el desarrollo de la actividad propuesta.

### **Deposición por modelado fundido.**

Esta técnica de fabricación es la que emplean la mayoría de las impresoras 3D del mercado, incluyendo las que podemos encontrar accesibles al usuario de marcas como Ultimaker o Makerbot. Estas impresoras utilizan como material base para la impresión un material basado en un termoplástico. Basándonos en el esquema de la Figura 3, la pieza se va a ir construyendo sobre la plataforma de fabricación, también habitualmente denominada cama de impresión. El material termoplástico, habitualmente en forma de filamento, es introducido en el cabezal de extrusión, donde es fundido y depositado sobre la lámina base, en la que se forma la capa que a posteriori terminará formando parte del objeto 3D final.

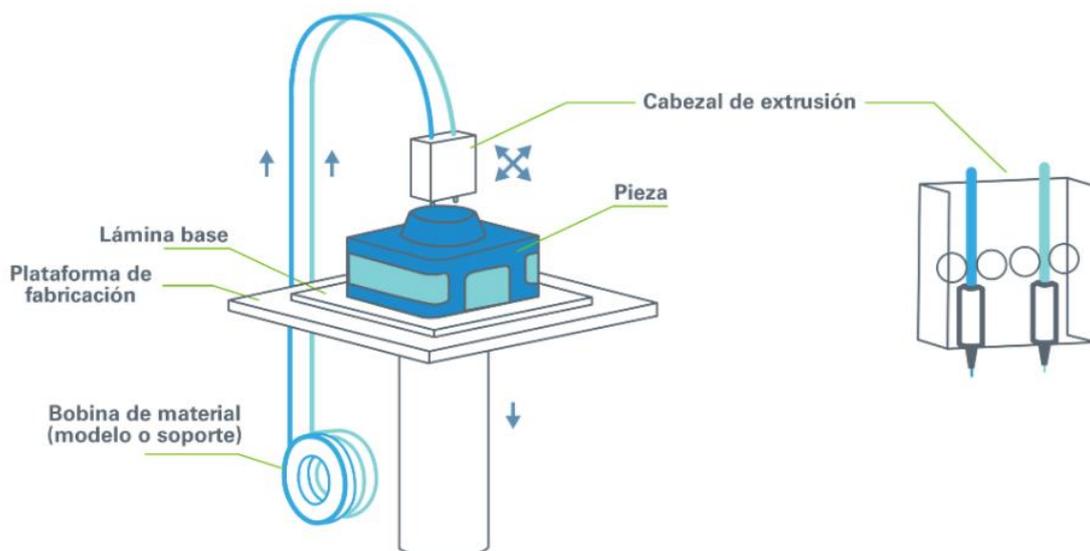


Figura 3. Esquema de funcionamiento de una impresora 3D basada en deposición por modelado fundido. Imagen extraída de (Mizar, 2016)

### Sinterizado selectivo por láser.

Esta técnica de fabricación es mayoritariamente empleada por la industria especializada, puesto que utiliza como base para la impresión un metal, o aleación de metales, con la restricción de que estos materiales deben ser empleados en forma de polvo. La estrategia de fabricación es similar a la anterior, con la diferencia de que ahora se deposita una capa de polvo completa sobre la cama de impresión, y se emplea un laser que va fundiendo o “sinterizando” de manera selectiva sobre la capa de polvo empleada. Posteriormente se deposita una nueva capa de polvo, y se va fundiendo selectivamente hasta construir la nueva capa, y así sucesivamente hasta que el objeto final ha sido construido.

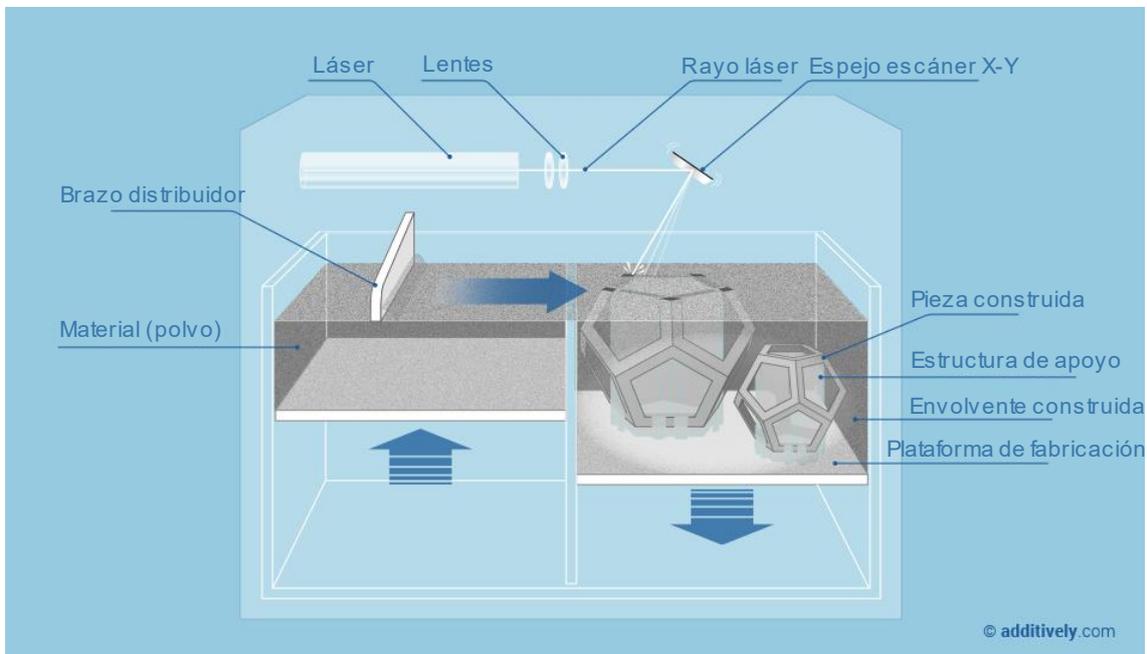


Figura 4. Esquema de funcionamiento de una impresora 3D basada en sinterizado selectivo por láser. Imagen traducida al castellano y extraída de (Additively, 2020a).

### Estereolitografía.

Esta estrategia de fabricación es una mezcla entre las dos anteriores. Se emplea como materiales resinas en forma líquida, que son depositadas en una cama de impresión siguiendo una estrategia similar a la del sinterizado selectivo por láser, con la diferencia de que en este caso es un láser ultravioleta el que se encarga de curar la resina para solidificarla e ir formando las capas que finalmente formarán el objeto.

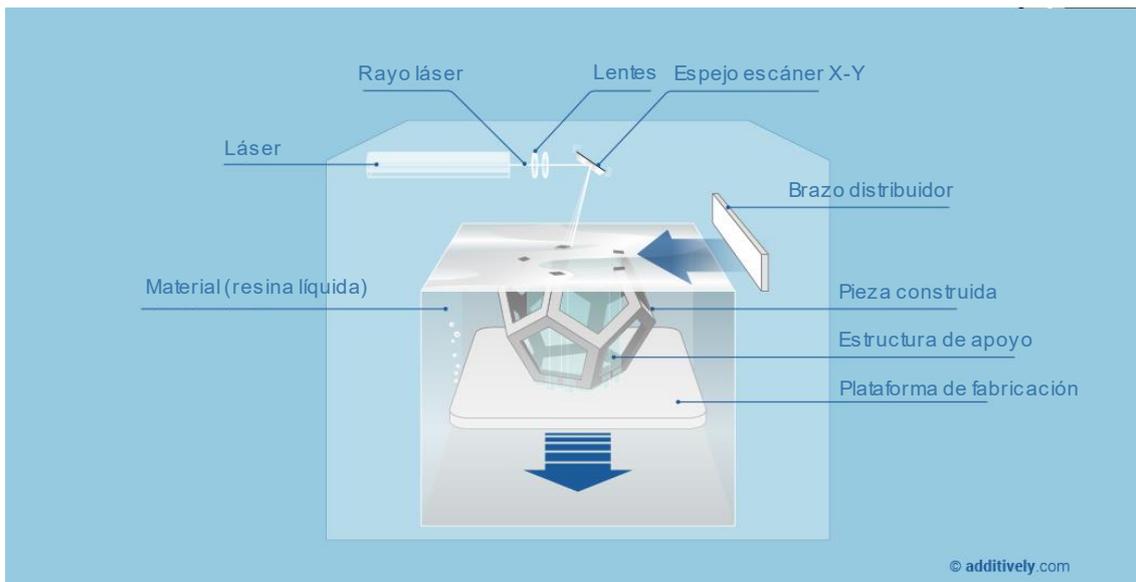


Figura 5. Esquema de funcionamiento de una impresora 3D basada en estereolitografía. Imagen traducida al castellano y extraída de (Additively, 2020b).

## 2.5 APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS (ABP)

Para concluir la sección del marco teórico, es importante mencionar la metodología propuesta para el desarrollo del trabajo de innovación educativa propuesto. Por su adecuación a los contenidos y los objetivos que se pretenden cubrir, se ha elegido una metodología de aprendizaje basado en proyectos. Esta metodología se define como una forma de enseñanza activa y centrada en el estudiante que se caracteriza por su autonomía, realización de investigaciones constructivas, colaboración, comunicación, aprendizaje cooperativo y aplicación práctica a tareas del mundo real (Kokotsaki et al., 2016).

Esta metodología de aprendizaje se basa en que el aprendizaje es mucho más efectivo cuando se afrontan problemas determinados, ya que se activa la motivación personal con el objetivo de resolver el problema de la mejor forma posible. Mediante la resolución de problemas, que es una capacidad transversal de la asignatura de matemáticas tanto en las etapas de Educación Secundaria Obligatoria y de Bachillerato, y que además es una destreza muy relevante en la vida personal y profesional de las personas, el estudiante debe adquirir los adecuados procesos de pensamiento para su resolución, hábitos de persistencia, resistencia al desaliento, etc.

Sin embargo, a pesar de que la resolución de problemas es el conductor principal de esta metodología de aprendizaje, que es un contenido propio de las matemáticas en los currículos de educación secundaria y bachillerato, esta habilidad es clave en todos los ámbitos de la vida diaria, aunque lo es especialmente para las áreas relacionadas con los ámbitos científicos, es decir, ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (*STEM: Science, Technology, Engineering and Mathematics*). Estudios como el realizado en (Tseng et al., 2013), presentan evidencias de que son estas áreas del conocimiento las que más se benefician de las metodologías de aprendizaje basado en proyectos. En particular, esta metodología ha demostrado ser muy efectiva y ampliamente usada en ámbitos de ingeniería, concretamente en futuros alumnos de ingeniería, tal y como se muestra en (Ricaurte & Vilorio, 2020). De los resultados de este estudio se deriva un importante crecimiento del interés y motivación de los alumnos por los contenidos desarrollados en el área de ciencias aplicadas, mediante el fomento de aspectos innovadores en la metodología como aprendizaje multinivel y potenciación del pensamiento lógico, algo muy típico y bien valorado por el ámbito ingenieril.

En conclusión, por la naturaleza del proyecto de innovación propuesto, los contenidos específicos que se pretende desarrollar y las capacidades que se espera desarrollar en el alumnado, la metodología de aprendizaje basado en proyectos es una de las que mejor se ajustan al trabajo de innovación, y por ello, se ha elegido como metodología de trabajo principal.

### **3. OBJETIVOS**

Los objetivos, tal y como se definen en el artículo 2.b) del Real Decreto 1.105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del bachillerato, son referentes relativos a los logros que el estudiante debe alcanzar al finalizar cada etapa, como resultado de las experiencias de enseñanza-aprendizaje intencionalmente planificadas a tal fin.

En nuestro proyecto de innovación educativa, por ser un trabajo de naturaleza extracurricular, se define como objetivo general el principal logro que se pretende que los alumnos adquieran con la realización de este taller. Los objetivos específicos se derivan de éste, y reflejan los objetivos concretos que se pretende alcanzar con el desarrollo de los proyectos propuestos.

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

- Mejorar las capacidades asociadas a la inteligencia visual-espacial por medio de la visualización, manipulación y construcción de objetos tridimensionales empleando las impresoras 3D. (OG)

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Manejar adecuadamente las herramientas software de diseño asistido por ordenador para modelar objetos 3D. (OE1)
- Comprender los pasos necesarios para llevar a cabo la impresión de un modelo 3D con una impresora. (OE2)
- Modelar objetos 3D sencillos a partir de imágenes bidimensionales de modelos 3D o a partir de modelos tridimensionales ya construidos. (OE3)
- Entender el proceso de fabricación aditiva de las impresoras 3D capa por capa y las limitaciones que se derivan de este proceso. (OE4)
- Visualizar adecuadamente los modelos 3D propuestos para ser capaz de argumentar la orientación y colocación óptima del modelo 3D sobre la plataforma de impresión. (OE5)

## **4. METODOLOGÍA**

La metodología didáctica, tal y como se define en el artículo 2.g) del Real Decreto 1.105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del bachillerato, se compone del conjunto de estrategias, procedimientos y acciones organizadas y planificadas por el profesorado, de manera consciente y reflexiva, con la finalidad de posibilitar el aprendizaje del alumnado y el logro de los objetivos planteados.

Para el desarrollo del proyecto de innovación propuesto, se va a diseñar una actividad tipo taller de laboratorio. En la actividad se van a planificar un total de 6 sesiones teóricas, de duración corta, dirigidas por el profesor, y otras 13 sesiones de duración más larga, para el desarrollo de las actividades concretas. Para lograr el aprendizaje de los contenidos y la consecución de los objetivos propuestos, se ha elegido una metodología didáctica de aprendizaje basado en proyectos. Hay varias razones que motivan la elección de esta metodología para su aplicación en este proyecto.

Desde un punto de vista educativo, hay estudios que relacionan esta metodología con un mejor aprendizaje de las competencias digitales y tecnológicas (Ricaurte & Vilorio, 2020). Por otro lado, se pretende mejorar la motivación del alumno mediante actividades/proyectos de aplicación real, por lo que hay un objetivo final que se les plantea en cada uno de los proyectos descritos. Además, desde el punto de vista práctico, es la mejor metodología para que los alumnos puedan enfrentarse a problemas reales por ellos mismos, y puedan basar su aprendizaje en la experiencia. Por último, cabe destacar que el enfoque grupal de los proyectos también permitirá que los alumnos aprendan a organizarse como equipo, a repartir tareas y compartir responsabilidades, así como que puedan colaborar entre ellos para solventar los problemas y carencias que tengan sobre los contenidos de la actividad propuesta.

### **4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

Tal y como se ha especificado en la breve introducción al apartado de metodología, el proyecto de innovación educativa se ha enfocado como un taller de laboratorio para su desarrollo a lo largo de, aproximadamente, 20 sesiones. Aunque el objetivo principal del proyecto es lograr una mejora significativa en las

capacidades espaciales del alumnado, éste no es un contenido curricular explicitado en los currículos básicos de secundaria o bachillerato. Por lo tanto, la actividad/taller se propone como actividad extracurricular, complementaria a la formación científica proporcionada por el centro educativo. Las asignaturas de este ámbito con las que están estrechamente relacionados los contenidos que se van a desarrollar son: matemáticas, física, tecnologías de la información, tecnología y dibujo técnico. Estas sesiones se han dividido en dos tipos:

- **6 sesiones teóricas de duración corta (duración aproximada: entre 30 y 45 minutos).** En estas sesiones, el cometido del profesor será explicar las nociones básicas para entender el funcionamiento de la impresión 3D. Se enseñarán los conceptos básicos para el manejo del software de modelado 3D, los principios básicos sobre los que se rige la impresión 3D, el manejo del hardware de la impresora, etc. Estas sesiones no se rigen por los principios metodológicos del aprendizaje basado en proyectos. Para conseguir el aprendizaje significativo que se pretende que los alumnos logren, se sientan las bases teóricas que van a trabajar mediante el desarrollo de las actividades concretas o proyectos propuestos. El profesor se apoyará en material didáctico audiovisual para ilustrar los contenidos que se pretende desarrollar, y ejemplificará de manera práctica el proceso de impresión 3D de una o varias piezas.

- **13 sesiones prácticas de duración larga/variable (duración aproximada: 2-3 horas).** En estas sesiones, el profesor toma un rol de apoyo o de orientación del aprendizaje. Será el propio alumno quien ahora tome el control, pasando a ser un agente activo de su aprendizaje. Estas sesiones componen el grueso de la actividad propuesta, y se basan en la metodología descrita de aprendizaje basado en proyectos. A lo largo del desarrollo de la actividad, se propondrán una serie de proyectos, de dificultad incremental, con el propósito de lograr la consecución de los objetivos descritos en la sección 3 de este documento. En la sección de actividades se propone una descripción con algunos de los posibles proyectos a desarrollar durante el taller. No obstante, estos pequeños trabajos podrán ser modificados y/o adaptados en función de las necesidades del alumnado para maximizar el aprendizaje de las capacidades propuestas.

## **4.2 CONTENIDOS**

En esta sección se presentan los contenidos que se van a desarrollar a lo largo del taller de impresión 3D.

Debido a que este proyecto se enmarca como una actividad extracurricular, es difícil especificar un contenido concreto extraído del currículo básico de ESO y bachillerato. No obstante, sí que se van a trabajar de forma directa algunos de los contenidos transversales en la asignatura de matemáticas y que son de especial relevancia. Estos contenidos están reflejados en el Decreto 221/2015, de 2 de septiembre de 2015, por el que se establece el currículo del Bachillerato en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, en el bloque 1 de procesos, métodos y actitudes en matemáticas, y son los siguientes:

- Planificación del proceso de resolución de problemas. Estrategias y procedimientos puestos en práctica: relación con otros problemas conocidos, modificación de variables, suponer el problema ya resuelto.
- Elaboración y presentación oral y/o escrita de informes científicos sobre el proceso seguido en la resolución de un problema o en la demostración de un resultado matemático.
- Elaboración de un informe científico sobre el proceso, resultados y conclusiones del proceso de investigación desarrollado.

Así mismo, también se trabajan contenidos reflejados en el bloque 4 de geometría, específicamente las propiedades métricas (cálculo de ángulos, distancias, áreas y volúmenes).

De manera más específica, durante las sesiones teóricas se van a explicar de manera guiada por el profesor e interactiva con el alumnado los fundamentos teóricos necesarios para el correcto desarrollo de la actividad extracurricular.

## **4.3 ACTIVIDADES**

Las actividades del taller de impresión 3D se pueden dividir entre los dos tipos de sesiones que se han planteado: por una parte, tenemos las 6 sesiones teóricas para explicar al alumnado los fundamentos de la impresión 3D, el diseño por ordenador y cómo se va a trabajar la visión espacial a lo largo del proyecto. Por otra parte, tenemos las 13 sesiones prácticas, durante las cuales se van a llevar a cabo el desarrollo de los proyectos propuestos.

En Tabla 1 se muestra un desglose de los contenidos que se van a explicar y actividades que se van a llevar a cabo en cada una de las sesiones teóricas planificadas.

Tabla 1. Descripción de las sesiones teóricas del taller.

<b>Sesión</b>	<b>Descripción</b>
<b>1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Actividad de Evaluación inicial del taller.</li> <li>- Introducción al modelado 3D.</li> <li>- Breve explicación sobre la construcción de objetos 3D utilizando un ordenador.</li> <li>- Visualización de modelos 3D mediante imágenes 2D.</li> </ul>
<b>2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipos de proyección geométrica.</li> <li>- Construcción de modelos 3D a partir de sus vistas</li> <li>- Introducción al software de modelado 3D TinkerCAD.</li> <li>- Explicación de la interfaz de usuario.</li> </ul>
<b>3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El espacio de trabajo de TinkerCAD.</li> <li>- Construcción de bloques sencillos de la librería.</li> <li>- Herramientas de manipulación de objetos básicas: movimiento, rotación, escalado.</li> <li>- Herramientas de manipulación de objetos mediante operaciones booleanas: unión, intersección, diferencia.</li> </ul>
<b>4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Introducción a la impresión 3D.</li> <li>- Descripción de los pasos necesarios para la fabricación de un modelo en 3D.</li> <li>- Descripción del proceso de fabricación de la impresora. Material audiovisual de video de youtube.</li> </ul>
<b>5</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Introducción al software de la impresora 3D Ultimaker Cura.</li> <li>- Revisión de la interfaz gráfica de usuario.</li> <li>- Importación de modelos en el software de la impresora 3D.</li> <li>- Manipulación y preparación del modelo 3D para su impresión.</li> </ul>
<b>6</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ejemplo práctico de impresión 3D a partir de un modelo prediseñado.</li> <li>- Importación y preparación del modelo 3D previamente diseñado según las características del hardware de la impresora.</li> </ul>

	- Lanzamiento de la impresión 3D. Estimación de los tiempos de fabricación y otros parámetros de interés para la impresión 3D.
--	--

Para el desarrollo de las sesiones prácticas, se va a seguir el modelo de aprendizaje basado en proyectos. Durante las 13 sesiones planificadas, de duración aproximada entre 2 y 3 horas, se va a plantear el desarrollo de 4 proyectos. En los siguientes subapartados se describen cada uno de los proyectos planteados.

#### **4.3.1 Proyecto 1. Representación de piezas en 3D.**

##### **Introducción del proyecto**

En esta actividad, vamos a practicar los conocimientos fundamentales sobre la representación de piezas en 2D y en 3D estudiados en asignaturas como tecnología y dibujo técnico. Una vez que dominéis la representación de las piezas propuestas, ¡estaremos listos para comenzar la impresión!

##### **Descripción de la tarea**

Vamos a utilizar los recursos web proporcionados en (Ortiz de Lejarazu, 2013) para practicar la construcción de piezas 3D a partir de sus vistas (alzado, planta y perfil), y también la representación de las vistas a partir de las figuras 3D. En la web, encontraréis ejercicios de vistas y de proyecciones de nivel elemental y de nivel medio.

El objetivo es proporcionar recursos materiales al departamento de plástica del centro educativo. Como equipo de trabajo, debemos trasladar los modelos 3D encontrados en dicho recurso web y modelarlos utilizando el software TinkerCAD que hemos aprendido. Tendremos que hacer una selección de las piezas más adecuadas e interesantes para efectuar su impresión 3D, por lo que se deberá tener en cuenta este punto a la hora de seleccionar las piezas. En la siguiente figura se muestra un ejemplo de las piezas 3D que se podrán encontrar en la citada web.

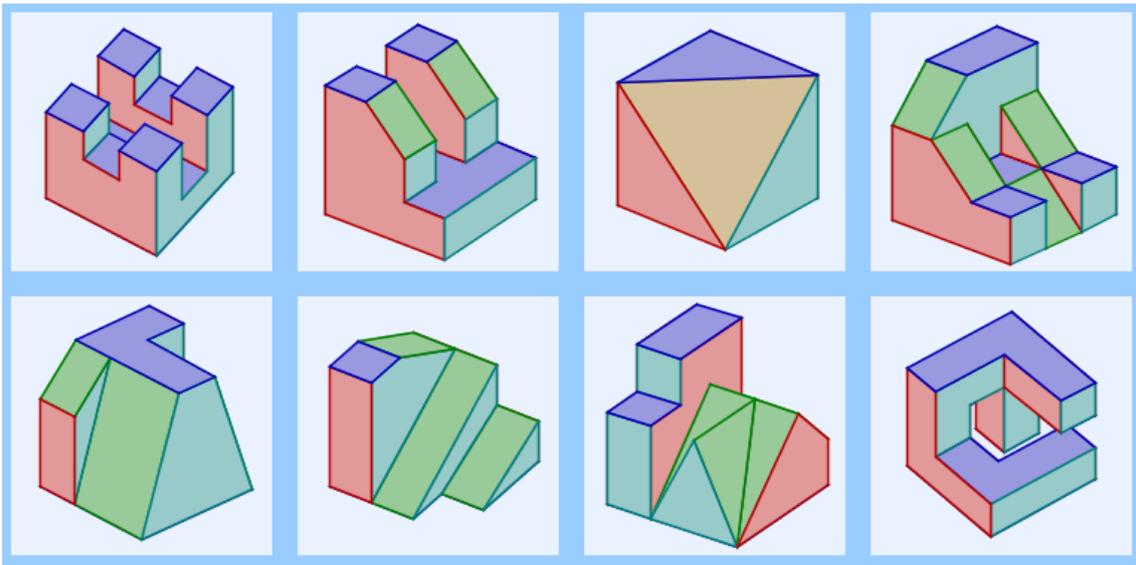


Figura 6. Ejemplo de piezas 3D para efectuar su modelado en el software TinkerCAD.

### **Documentación que deberán entregar para su evaluación**

Para que el personal del departamento de plástica pueda utilizar el material que vamos a elaborar, necesitamos proporcionarles los archivos de los proyectos de cada pieza, así como un pequeño documento en el que se especifique cada pieza junto con el nombre de fichero del proyecto. Además, debéis comentar por qué habéis elegido dicha pieza y si es adecuada para ser impresa en 3D.

### **Comentarios sobre el proyecto propuesto**

En este proyecto introductorio se pretende que los alumnos practiquen de forma activa la representación de piezas en 3D a partir de sus vistas. También se pretende que practiquen lo contrario, es decir, dibujar las vistas a partir de las piezas en 3D. Para ello se parte de los recursos encontrados en la citada página web. También se van a proporcionar varias piezas 3D en la sesión práctica ya impresas, para que los alumnos puedan practicar la visualización espacial mediante observación directa.

Mediante la propuesta de la actividad para proporcionar material al departamento de plástica, se pretende buscar la motivación del alumno en una aplicación práctica del proyecto propuesto. Además, el departamento de plástica y de tecnología del centro educativo podrán utilizar los diseños y piezas impresas por los alumnos de este taller. Es una forma de involucrar de forma activa

también al alumnado en el desarrollo de las actividades didácticas de los departamentos.

Es necesario utilizar el software TinkerCAD puesto que es la principal herramienta que se va a utilizar a lo largo del taller. De esta forma también practicarán las habilidades de diseño asistido por ordenador, con las que se trabajan capacidades reflejadas en las competencias lógico-matemáticas y digital.

La metodología de trabajo empleada usando ABP requiere que la actividad sea desarrollada por un grupo de alumnos, tal y como se especifica en el cuerpo de este documento. No se espera que todos los alumnos trabajen todas las piezas que se proponen. Lo que se pretende es que trabajen como equipo, sepan cómo coordinarse y cómo organizar el trabajo, y también que sepan tomar decisiones consensuadas sobre las piezas que van a elegir y los motivos por los que son elegidas.

Para la evaluación del proyecto, se van a emplear dos instrumentos de evaluación. Por un lado, la observación directa del docente es fundamental, puesto que la mayor parte del trabajo organizativo será desarrollado en clase. Por otro lado, se evaluarán los informes elaborados por el grupo sobre el proyecto. En este informe se evaluará la limpieza del documento, la organización y estructura adecuadas y la redacción.

Para efectuar la evaluación del proyecto se va a utilizar una rúbrica, en la que se valorarán los diversos objetivos y capacidades trabajados en la actividad.

#### **4.3.2 Proyecto 2. Impresión de piezas en 3D.**

##### **Introducción del proyecto**

En esta actividad vamos a practicar las habilidades y conocimientos adquiridos sobre la preparación de modelos 3D para su fabricación con una de las impresoras disponibles en el taller. La cosa se pone interesante, ¡manos a la obra!

##### **Descripción de la tarea**

Para este proyecto vamos a necesitar las piezas que hemos diseñado en el proyecto 1. El objetivo es aprender a utilizar el software y el hardware de la impresora 3D para la realización física de las piezas que ya hemos modelado.

De todas las piezas diseñadas en el proyecto 1, elegiremos una pieza por persona. Cada una de las piezas deberá importarse en el software de la impresora (Ultimaker Cura) y prepararse para el laminado y envío a la impresora 3D. El resultado final debe ser un set de piezas fabricadas en 3D adecuadas con los modelos diseñados en el proyecto 1. Estas piezas serán entregadas también al departamento de plástica junto con una pequeña presentación audiovisual donde se muestre que la pieza fabricada se corresponde con el modelo 3D de partida y con sus vistas.

### **Documentación que deberán entregar para su evaluación**

Para que el personal del departamento de plástica pueda utilizar el material que vamos a elaborar, debemos mostrarles que cada pieza que le entregamos es adecuada con los proyectos de diseño que se elaboraron en el proyecto anterior. Para ello se prepararán dos pequeños trabajos a modo de documentación. Por un lado, un pequeño informe que muestre el proceso de impresión, el fichero preparado con su laminado y las características que se han utilizado, y unas imágenes visuales de las piezas fabricadas. Para elaborar este informe, podemos (y debemos) reutilizar el documento preparado para el proyecto anterior. Por otro lado, un pequeño vídeo en el que se muestren las piezas fabricadas, las piezas 3D o conjuntos de vistas que se han utilizado para la fabricación y cómo se han impreso con el hardware de la impresora (2-4 minutos).

### **Comentarios sobre el proyecto propuesto**

Con este proyecto se pretende que los alumnos apliquen los procedimientos explicados en las sesiones teóricas sobre la preparación del fichero para su impresión y el envío de este al hardware de la impresora.

También se inicia el trabajo de la visualización y manipulación de objetos en el espacio mediante la preparación de los modelos 3D para su impresión. Las piezas presentes en los recursos didácticos del proyecto 1 tienen determinadas características que las hacen interesantes para su impresión 3D. Debido al proceso de impresión capa por capa, una limitación inherente de la impresión, al fabricarse de abajo a arriba, es que no se puede imprimir fácilmente trozos de la pieza que quedan voladizos sin ningún tipo de soporte. El software elegido para la impresión 3D, tiene la capacidad de generar soportes para estas secciones de manera automática. No obstante, en la mayoría de los casos propuestos, la

fabricación de la pieza se puede hacer de manera sencilla simplemente cambiando la orientación de la pieza sobre el espacio de trabajo. Se valorará la capacidad de los alumnos para estudiar estos casos e identificar las orientaciones óptimas para las piezas que minimicen la necesidad de usar estructuras de soporte.

Mediante la presentación de los resultados en forma escrita y audiovisual, se pretende fomentar las capacidades científicas en el área de redacción de informes y trabajos técnicos, así como la presentación oral y presentación visual de los resultados obtenidos tras la realización de un proyecto. Todas estas habilidades están relacionadas con las competencias lingüísticas, lógico-matemáticas y digitales, en especial relacionada con el lenguaje técnico de la fabricación e impresión 3D.

Para efectuar la evaluación del proyecto se va a utilizar una rúbrica, en la que se valorarán diversos objetivos y capacidades trabajados en la actividad.

### **4.3.3 Proyecto 3. La maqueta del tobogán**

#### **Introducción del proyecto**

En esta actividad vamos a profundizar en nuestros conocimientos sobre el modelado de piezas 3D y la impresión de estas piezas para una aplicación práctica: la construcción de una maqueta para un proyecto de construcción real. ¡Hora de ponerse a diseñar!

#### **Descripción de la tarea**

Para este proyecto vamos a necesitar poner nuestra creatividad en marcha. La comunidad autónoma nos ha financiado la construcción de un tobogán para incorporarlo a nuestras instalaciones de educación infantil y educación primaria. El objetivo es que los niños puedan lanzarse por el tobogán y caer a pie de calle sobre un entorno acolchado conectado directamente con el patio del colegio. Para contar con la opinión del centro educativo, nos han pedido que les aportemos ideas sobre cómo puede ser este tobogán y qué forma puede tener.

Por ello, necesitamos presentarles una serie de diseños originales en el que puedan inspirarse para llevar a cabo la construcción del tobogán. Nuestra tarea es diseñar la forma del tobogán en 3D y fabricar una pequeña maqueta a escala de cómo quedaría el tobogán. A modo de ejemplo, podéis inspiraros en

la siguiente fotografía, extraída de un proyecto real de tobogán de evacuación fabricado en la Comunidad de Aragón.

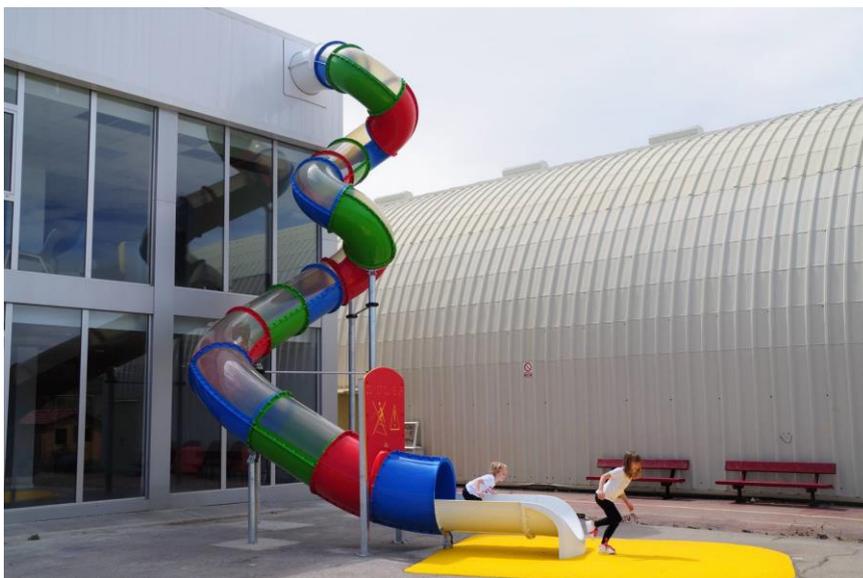


Figura 7. Ejemplo de tobogán de evacuación. Imagen extraída de (Industrias Agapito, 2020)

Debéis tener en cuenta que todos los proyectos que realicéis serán presentados al comité, por lo que **no debéis repetir diseños entre vosotros**. Durante la sesión práctica podéis organizar una discusión entre todos los grupos para decidir qué diseños y qué cosas incluye y realiza cada grupo.

#### **Documentación que deberán entregar para su evaluación**

Para la correcta evaluación de las propuestas, necesitamos un documento donde se describa el diseño que se ha hecho, los ficheros de diseño de los modelos 3D y la maqueta fabricada mediante la impresora 3D. Podéis incluir un pequeño vídeo en el que expliquéis la estructura del tobogán y cómo habéis fabricado la maqueta (2-4 minutos).

#### **Comentarios sobre el proyecto propuesto**

El proyecto propuesto cubre en su totalidad los objetivos específicos propuestos para este proyecto de innovación. Con el diseño e impresión de un modelo 3D de un tobogán, los alumnos deberán trabajar múltiples capacidades relacionadas con la inteligencia espacial. Por la naturaleza colaborativa del proyecto, también deberán ampliar su ámbito de trabajo y pasarán a colaborar no sólo entre los miembros de trabajo del grupo, sino también con el resto de los grupos de la clase.

En una primera fase, deberán decidir entre todos los grupos qué tipos de toboganes quieren hacer y cuáles son las formas que van a hacer cada uno. En una segunda etapa, cada grupo deberá planificar cómo hacer el diseño del tobogán. Durante este proceso, afrontarán varios retos relacionados con las capacidades espaciales y de razonamiento lógico. Por ejemplo, deberán decidir si imprimir el tobogán de una sola pieza o dividirlo en varias piezas para luego juntarlas. Deberán también decidir el tamaño de la escala para el tobogán. De la misma forma, puesto que es una maqueta, pueden optar por hacer el tobogán hueco o hacerlo sólido (completo o parcialmente). En función de las opciones elegidas, la complejidad del diseño y fabricación pueden variar. Por ello, aunque la temporalización establece 3 sesiones para este proyecto, en función del progreso de los trabajos el profesor podrá decidir si proponer el cuarto proyecto como parte del taller o como tarea adicional para los alumnos que tengan interés y deseen seguir trabajando estas capacidades fuera del período de realización del taller.

A la finalización de este proyecto, se propondrá realizar una exposición en el centro educativo con las maquetas impresas en 3D en una de las zonas comunes del centro. Los alumnos del taller tendrán que dejar su tobogán montado y preparar un pequeño póster donde muestren imágenes del diseño y del proceso de fabricación seguido para montar la maqueta. De esta forma, se consiguen darle visibilidad a la actividad en el centro. También es interesante esta actividad final como instrumento evaluador para el profesor, quien podrá comprobar las capacidades lingüísticas relacionadas con la exposición oral, discusión e interacción con otros alumnos y profesores interesados en sus proyectos.

Al igual que todos los proyectos, como instrumento de evaluación se va a emplear una rúbrica para valorar la consecución de los objetivos al término del proyecto.

#### **4.3.4 Proyecto 4. Fabricación de un set de tablero y piezas de ajedrez.**

##### **Introducción al proyecto**

En la última actividad del taller, vamos a seguir trabajando nuestras habilidades de modelado e impresión 3D, diseñando y fabricando un modelo de tablero de ajedrez que pueda ser imprimible por otros centros educativos. Nos

centraremos en que el tablero sea funcional y que pueda montarse de forma que quede fijo, y las piezas sean bonitas, pero, sobre todo, funcionales. Como decía un legendario campeón mundial de ajedrez, y que en nuestro caso es perfectamente aplicable, “Hay que eliminar la hojarasca del tablero” (José Raúl Capablanca).

### **Descripción de la tarea**

Para este proyecto, vamos a elaborar un set de tablero y piezas de ajedrez para poder ser utilizadas en las horas libres y recreos en el centro educativo. El objetivo es lograr tener los archivos de diseño e impresión para un modelo de tablero y conjunto de piezas entre todos los grupos de la clase, por lo que se deberán repartir las tareas entre todos los grupos. Además, el estilo de las piezas y del tablero debe de ser uniforme, por lo que deberá haber acuerdo entre todos los grupos en el estilo y los modelos a utilizar.

Para el diseño del tablero, se deberá tener en cuenta las dimensiones de este, y si se propone fabricarlo en una o varias piezas. Hay que tener en cuenta la alternancia de colores de las casillas, y además el tamaño de la casilla debe ser acorde con la base de las piezas utilizadas.

Para las piezas utilizadas, se podrá o bien diseñar un juego propio, basado en otros conjuntos de piezas existentes (se valorará la originalidad), o podrá utilizarse alguno de los modelos existentes en los recursos web proporcionados por el profesor. En cualquier caso, como ya se ha especificado, el diseño de todas las piezas deberá ser uniforme. Deberá respetarse también el mismo código de colores para las piezas (un color claro para todas las piezas blancas, y un color oscuro para todas las piezas negras).

En total, es necesario diseñar e imprimir: un tablero compuesto por 64 casillas, un conjunto de piezas blancas y otro conjunto de piezas negras (cada conjunto de piezas se compone de 8 peones, 2 torres, 2 caballos, 2 alfiles, una dama y un rey).

Como recordatorio, tened en cuenta las limitaciones de espacio en la mesa de trabajo de la impresora 3D a la hora de elegir la escala del tablero. Tened en cuenta también que, si las piezas son demasiado pequeñas, será difícil imprimirlas con suficiente precisión.

### **Documentación que deberán entregar para su evaluación**

En este proyecto, se redactará un pequeño informe donde se reflejen los diseños elegidos para las piezas y la estrategia utilizada para la fabricación del tablero. Este informe será redactado **en conjunto por todos los grupos**, y se deberá indicar la aportación de cada grupo al mismo. Así mismo, tenéis que presentar los diseños de los modelos 3D de las piezas y tablero, así como los ficheros para la impresión que hayáis elaborado.

### **Comentarios sobre el proyecto propuesto**

En este último proyecto propuesto para el taller de impresión 3D, se utiliza como elemento motivador el juego del ajedrez, que se ha vuelto muy popular en los últimos tiempos. Esto se debe a la alta popularidad de la práctica de este deporte por internet, muy frecuentado en los tiempos de pandemia que vivimos, y por el auge surgido de una serie televisiva de la plataforma Netflix, “Gambito de Dama”, emitida durante el año 2020.

Para la realización del proyecto, es necesario que todos los grupos elijan en su conjunto un juego de piezas y una estrategia para la fabricación del tablero con la impresora 3D. Los alumnos pueden optar por diseñar el conjunto de piezas desde cero, lo cual será muy valorado muy positivamente por el profesor, o bien tomar un modelo de piezas disponible en los recursos web y modificarlo para adaptarlo a sus gustos. En cualquier caso, se deberá respetar la escala típica empleada en piezas de ajedrez, para lo cual el profesor proporcionará en las sesiones algunos modelos de piezas para que los alumnos puedan observarlos y medirlos con una regla, y así obtener medidas aproximadas.

La fabricación del tablero es una de las partes más complejas de realizar en este proyecto. Para esta parte, se valorará positivamente la creatividad y originalidad de la estrategia de impresión propuesta.

## **4.4 RECURSOS**

Para la puesta en práctica de la actividad propuesta en este proyecto de innovación, serán necesarios una amplia variedad de recursos materiales y digitales. Por suerte, la mayoría de ellos se encuentran disponibles actualmente en los centros educativos de enseñanza secundaria, bachillerato y formación profesional (FP). Podemos distinguir los recursos necesarios en tres tipos: recursos espaciales, recursos digitales y recursos materiales.

Los recursos espaciales engloban las aulas y espacios de clase en los que se desarrollarán las sesiones teóricas y las sesiones prácticas de la actividad. Para el desarrollo de las sesiones teóricas, será necesaria un aula equipada de, al menos, los siguientes materiales:

- Pizarra (tradicional o digital).
- Proyector o pantalla multimedia (televisión, monitor de ordenador, o similar).
- Mesas individuales para los alumnos.

Para el desarrollo de las sesiones prácticas, será necesaria un aula taller en la que se llevarán a cabo las actividades grupas (proyectos) de la actividad, y las tareas de impresión 3D.

Los recursos digitales engloban a las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), es decir, el software para modelado 3D, recursos web para su consulta, aplicaciones de office para la elaboración de documentos, etc. En particular, los recursos digitales principales que son necesarios para el desarrollo del proyecto son:

- Software de modelado 3D (TinkerCAD).
- Software de la impresora 3D (Ultimaker Cura).
- Recursos web para obtener modelos de piezas 3D.
- Aula virtual (Google classroom) como entorno de aprendizaje donde estará centralizada toda la información sobre el taller y el material necesario para el desarrollo de los proyectos.
- Herramientas ofimáticas (Google Suite, Microsoft Office) para la elaboración de informes y documentos.

Los recursos materiales engloban las herramientas físicas que serán necesarias para el correcto desarrollo del taller de impresión 3D. Concretamente, estos recursos son:

- Impresoras 3D (al menos una por grupo).
- Cartuchos de material termoplástico para las impresoras 3D.
- Ordenadores equipados con las herramientas software descritas en los recursos digitales (al menos 1 por cada 2 alumnos).

En relación con la disponibilidad de todos estos recursos en el centro educativo, la mayor parte de ellos están disponibles o son de libre acceso para los alumnos y profesores de los centros educativos. Los recursos que pueden

presentar mayor dificultad en su disponibilidad son las impresoras 3D, puesto que no son un recurso típico empleado en los centros de enseñanza de secundaria y bachillerato. Los ordenadores para el uso de los recursos digitales suelen estar disponibles en las aulas de informática de los centros educativos, por lo que pueden ser usados por los alumnos para el desarrollo de las actividades del taller. Las herramientas digitales empleadas para el modelado e impresión 3D son gratuitas y fáciles de encontrar en la web, por lo que podrán estar disponibles en los ordenadores del aula de informática y también lo podrán utilizar los alumnos fácilmente en sus ordenadores personales.

#### **4.5 TEMPORALIZACIÓN**

La distribución de sesiones de trabajo se ha hecho dividiendo por una parte las sesiones teóricas y por otra parte las sesiones prácticas. Para las sesiones teóricas, se planifica el desarrollo de los contenidos indicados en la Tabla 1 en sesiones de duración aproximada de entre 30 y 45 minutos, salvo la sesión teórica número 1, que contiene una actividad inicial, descrita con mayor detalle en el apartado de evaluación del proyecto. Para las sesiones prácticas, se planificar el desarrollo de los proyectos descritos a lo largo de 13 sesiones de duración aproximada entre 2 y 3 horas, dependiendo del interés y del rendimiento del alumnado con respecto a los proyectos que se proponen.

Es importante destacar en este apartado la secuenciación de las sesiones teórico/prácticas. Estas sesiones no se desarrollarán totalmente en paralelo, puesto que para el desarrollo de los proyectos es necesario contar con una serie de conocimientos básicos sobre modelado e impresión 3D que serán descritos durante las sesiones teóricas de la actividad. Por este motivo, se planifica el inicio de las sesiones prácticas una vez que se haya impartido la sesión teórica número 3, en la que se explicará a los alumnos el funcionamiento de la herramienta software elegida para el modelado 3D.

En total, se ha planificado el desarrollo del taller a lo largo de 16 semanas, durante las cuales se impartirán las sesiones teóricas y prácticas. La temporalización de las 19 sesiones a lo largo de las 16 semanas se muestra en la tabla de la sección 8.1.

## 5. EVALUACIÓN

Para medir el grado de adquisición de los objetivos propuestos en el alumnado y el grado con el que el taller ha sido diseñado en relación con el aprendizaje de los alumnos, se van a distinguir dos tipos de evaluación:

- **Evaluación del proceso de aprendizaje.** Se va a evaluar mediante test, cuestionarios y actividades prácticas el grado de adquisición de las capacidades propuestas como objetivos del proyecto propuesto. Esta evaluación será diseñada por el profesor y será realizada por los alumnos de la actividad.
- **Evaluación del proceso de enseñanza.** Mediante los resultados obtenidos del proceso de aprendizaje de los alumnos, y unos cuestionarios de autoevaluación, se pretende valorar la adecuación de los contenidos y el desarrollo del taller con los objetivos planteados. Estos cuestionarios serán rellenados de forma objetiva por el profesor que imparte la actividad.

A continuación, se van a detallar las etapas y procedimientos de evaluación de cada uno de los tipos a considerar en el proyecto.

### 5.1 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE APRENDIZAJE

Con la evaluación del proceso de aprendizaje, se pretende medir de manera objetiva el grado de adquisición del objetivo general (OG), definido en la sección 3 de este documento, a lo largo del desarrollo de las actividades propuestas dentro del taller.

Para llevar a cabo una evaluación objetiva, y que además se ajuste a las características del proceso de evaluación en la etapa de secundaria y bachillerato (evaluación continua, formadora e integradora), se van a definir tres etapas de evaluación. La primera etapa de evaluación consistirá en una prueba, desarrollado de manera individual, compuesto por dos ejercicios relacionados con la capacidad visual-espacial del alumno. Ésta será la evaluación inicial del alumno. La segunda etapa de evaluación consistirá en la evaluación de los proyectos propuestos. Por último, se hará una evaluación final de la actividad, similar a la evaluación inicial, para poder evaluar la mejora de los alumnos en lo referido a la capacidad visual-espacial, en el momento de finalización de la actividad.

### 5.1.1 Evaluación inicial de la actividad.

La primera etapa de evaluación consistirá en una prueba, desarrollado de manera individual, compuesto por dos ejercicios relacionados con la capacidad visual-espacial del alumno. Ésta será la evaluación inicial del alumno.

El primer ejercicio consistirá en una prueba de rotación mental de figuras y formas en dos dimensiones (en el plano). Para ello, se proporcionará un set de hasta 10 conjuntos de figuras en los que se mostrará al alumno una figura original y dos versiones rotadas y/o transformadas e la misma figura. El alumno deberá elegir entre una de las dos opciones proporcionadas, siendo la opción correcta la que más se ajuste a la versión original de la figura (sin rotar). Se pueden utilizar conjuntos de figuras ya empleadas en otros estudios; por ejemplo, en este ejercicio utilizaremos sets de figuras generadas mediante una aplicación web (Stoet, 2021). Un ejemplo de esta actividad lo podemos ver en la Figura 8.

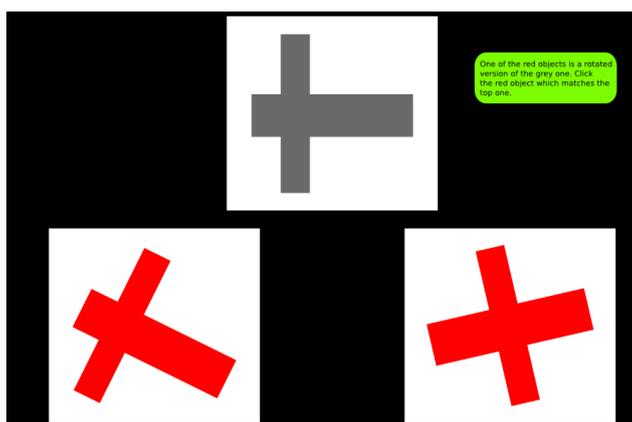


Figura 8. Ejemplo de ejercicio de rotación mental en 2D. En este caso, la figura correcta es la de la izquierda, puesto que la figura de la derecha tiene la intersección entre los dos rectángulos más centralizado. Extraído de (Stoet, 2021).

El segundo ejercicio será una actividad similar, pero en este caso empleando un recurso web gratuito y de libre acceso, realizado sobre un ordenador. En este ejercicio también se mostrará una figura base, y una serie de opciones giradas y/o rotadas de la figura base. El alumno deberá elegir cuál de las figuras proporcionadas en las opciones se ajusta mejor a la figura base proporcionada. Para este ejercicio, utilizaremos un recurso web con el que se puede calibrar la dificultad de las figuras empleadas, el número de opciones por cada figura individual y también se puede configurar un tiempo máximo de resolución por

cada figura. Esta herramienta (V. Yan, 2016), se encuentra disponible de forma gratuita y de libre acceso desde cualquier navegador. La ventaja de esta herramienta es que permite que el alumno pueda girar cada una de las piezas mostradas en la pantalla (tanto la figura base como las figuras de las opciones), lo que puede ayudarle a decidir cuál es de las opciones proporcionadas es la correcta. Un ejemplo de este ejercicio se muestra en la Figura 9.

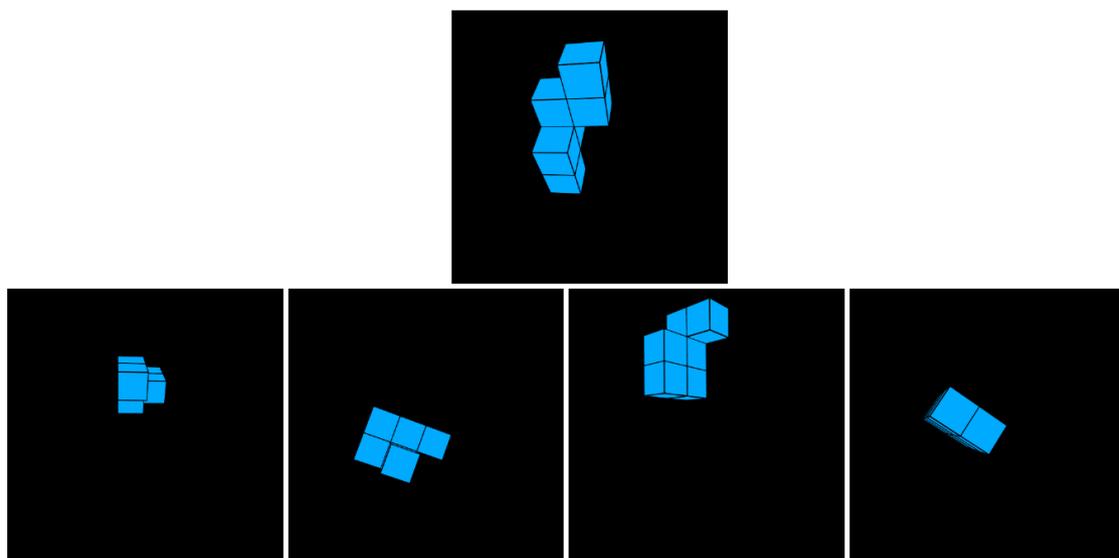


Figura 9. Ejemplo de ejercicio de rotación mental 3D. En este caso, para determinar la solución correcta, el alumno rotará con el ratón sobre la pantalla cada una de las figuras hasta dar con la respuesta más adecuada.

Por lo tanto, la actividad inicial consistirá en la realización de 10 ejercicios de rotación mental 2D y otros 10 ejercicios de rotación mental 3D. Se almacenarán las puntuaciones obtenidas por los alumnos en cada uno de los ejercicios de rotación mental.

### 5.1.2 Evaluación de los proyectos.

La segunda etapa de la evaluación será efectuada al mismo ritmo que se desarrollan los proyectos. En este caso, se realizará la evaluación de la adquisición de los objetivos específicos, descritos en la sección 3.2 de este documento, mediante una rúbrica, detallada en la sección 8.2. En esta rúbrica, se evalúa el grado de adquisición de cada uno de los objetivos específicos propuestos como medio para la consecución del objetivo general de la actividad. Se puntuará cada uno de los objetivos específicos según cuatro niveles de

graduación: insuficiente, mejorable, adecuado y excelente. Será tarea del profesor realizar la evaluación objetiva de cada alumno para esta rúbrica, a partir de la observación directa del alumno durante las sesiones prácticas y los documentos e informes proporcionados al término de cada proyecto.

Uno de los documentos que los alumnos deben entregar al término de cada uno de los proyectos es un informe a modo de reporte sobre el trabajo que han realizado en los proyectos. Para su evaluación objetiva, se va a utilizar también una rúbrica de evaluación, detallada en la sección 8.3. En esta rúbrica, se va a evaluar también utilizando los 4 niveles de adquisición especificados para la rúbrica de evaluación de los proyectos. La diferencia es que se van a evaluar indicadores diferentes a los objetivos específicos del proyecto, y que se pueden considerar como objetivos transversales del proyecto. Los indicadores elegidos para la evaluación de los informes son:

- Organización y estructura: se pretende evaluar si los alumnos son capaces de organizar y estructurar adecuadamente el documento resumen de su trabajo de manera que un lector pueda entender adecuadamente el sentido del trabajo.
- Calidad de la redacción: se valorará el uso del lenguaje formal y se penalizarán las faltas gramaticales y de ortografía.
- Contenido: se puntuará según la relación observada por el profesor entre el trabajo que se desarrolla en clase y el trabajo que queda reflejado en el documento.
- Figuras y tablas: el material gráfico en un proyecto de naturaleza científica es fundamental. Se pretende que los alumnos sean capaces de seleccionar y mostrar las gráficas y tablas que se consideren más relevantes o interesantes para apoyar el contenido textual del documento.

De la misma forma, en cada proyecto se va a evaluar también el grado de trabajo en equipo observado para cada uno de los alumnos dentro de cada grupo. Esta evaluación se va a llevar a cabo mediante una rúbrica, detallada en la sección 8.4, que será evaluada mediante observación directa por el profesor y mediante las diversas actividades finales o informes a entregar al término de los proyectos. En este apartado no se reflejan como indicadores de la rúbrica los

objetivos específicos del proyecto. En su lugar, se va a evaluar según los siguientes indicadores:

- Organización del grupo: Se trata de valorar cómo se ha organizado el grupo en cada proyecto, cómo se asumen las responsabilidades y cómo se reparten las tareas de cada proyecto.
- Planificación del tiempo de trabajo: Uno de los aspectos más importantes del trabajo en equipo consiste no sólo en saber organizarse, sino adecuar las tareas repartidas al tiempo disponible para realizarlas. Este indicador pretende evaluar si la planificación temporal de los grupos ha sido adecuada o si, por el contrario, han dejado la mayor parte de las tareas para la última sesión.
- Participación individual en las tareas del grupo: Este indicador está muy relacionado con el primero, pero a diferencia de éste, se pretende valorar la actitud y el interés personal de cada alumno con respecto a los intereses del desarrollo del proyecto.

### **5.1.3 Evaluación final de la actividad.**

Para la evaluación final de la actividad, se va a diseñar una prueba similar a la descrita en el apartado de la evaluación inicial, descrita en la sección 5.1.1. La finalidad de esta evaluación final es la de comparar los resultados obtenidos con los de la evaluación inicial, para determinar si el desarrollo del taller ha producido, de forma observable, una mejora en la capacidad visual-espacial de los alumnos.

Para obtener un resultado final en forma de calificación final del taller de impresión 3D, se podrá proporcionar una calificación a los alumnos en base a la evaluación mediante rúbricas efectuada para cada uno de los proyectos. Siguiendo el sistema de graduación de calificaciones empleado en secundaria y bachillerato (calificación sobre 10), se propone el siguiente sistema de puntuación. Cada rúbrica será evaluada sobre 10; la puntuación de la rúbrica se obtendrá como promedio de las puntuaciones obtenidas en cada uno de los indicadores de la rúbrica. Puesto que cada indicador se evalúa utilizando 4 grados de adquisición, entre insuficiente y excelente, se puede asignar la puntuación 2,5 puntos sobre 10 a la graduación insuficiente, 5 puntos sobre 10 a la graduación aceptable, 7,5 puntos a la graduación adecuada, y 10 puntos a

la graduación excelente. De esta forma, tomando como ejemplo la rúbrica para la evaluación de informes de los proyectos, mostrada en la sección 8.3, como hay un total de cuatro indicadores en la rúbrica, cada indicador contribuye un 25% a la nota final de la rúbrica.

Para calificar un proyecto en su totalidad, tenemos 3 rúbricas diferentes para evaluar los diferentes aspectos que se trabajan en los proyectos. Por su contenido y su peso sobre la adquisición de los objetivos descritos, se propone utilizar los porcentajes descritos en la Tabla 2. para la evaluación de cada proyecto.

Tabla 2. Porcentajes asignados a cada una de las rúbricas para la calificación de los proyectos propuestos en la actividad.

<b>CALIFICACIÓN DEL PROYECTO INDIVIDUAL</b>		
Rúbrica: Evaluación del proyecto	Rúbrica: Evaluación del Informe final	Rúbrica: Evaluación del trabajo en equipo
60%	30%	10%

Finalmente, puesto que, en los 4 proyectos propuestos, la carga de trabajo no es la misma, se propone obtener la calificación final del taller para cada alumno siguiendo el promediado especificado en la Tabla 3.

Tabla 3. Porcentajes asignados a cada uno de los proyectos para obtener la calificación final del taller de impresión 3D.

<b>CALIFICACIÓN FINAL DEL TALLER DE IMPRESIÓN 3D</b>			
Proyecto 1	Proyecto 2	Proyecto 3	Proyecto 4
20%	20%	30%	30%

## **5.2 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE ENSEÑANZA**

En este apartado se van a considerar los instrumentos de evaluación adecuados para la evaluación de la práctica educativa por parte del docente.

Para llevar a cabo la evaluación del proceso de enseñanza, se van a realizar dos cuestionarios diferentes. En primer lugar, se va a pasar un cuestionario de evaluación de la actividad a los alumnos, quienes valorarán diferentes aspectos relacionados con la realización de la actividad y el desarrollo

de los proyectos propuestos. En la Tabla 4 se muestra un ejemplo de cuestionario para los alumnos. Se proponen una serie de afirmaciones y preguntas sobre el desarrollo del taller que los alumnos valorarán con una puntuación del 1 al 5, siendo el 1 la puntuación más baja (muy en desacuerdo) y la puntuación 5 la más alta (muy de acuerdo).

Tabla 4. Cuestionario para la evaluación del proceso de enseñanza, para su valoración por parte de los alumnos.

<b>Cuestión</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Las sesiones teóricas han sido útiles para el desarrollo de los proyectos.					
Las sesiones prácticas dedicadas a cada proyecto han sido suficientes.					
Los recursos materiales empleados en el taller han sido adecuados.					
Los recursos materiales empleados en el taller estaban en buen estado.					
Los recursos digitales empleados en el taller han sido adecuados a las necesidades de la actividad.					
Los recursos audiovisuales proporcionados me han ayudado a entender el proceso de impresión 3D.					
Los recursos audiovisuales proporcionados me han ayudado a visualizar mejor los objetos en 3D.					
Ha sido fácil trabajar en los proyectos con el apoyo del profesor.					
El taller ha tenido una duración suficiente.					
Los proyectos propuestos han sido interesantes.					
Los proyectos propuestos tienen una dificultad adecuada.					
Los proyectos propuestos han supuesto un reto a mis habilidades de visión espacial.					
Las habilidades aprendidas en este taller me serán útiles para diversas asignaturas.					

En general, mi visión espacial ha mejorado gracias a la participación en este taller.					
---	--	--	--	--	--

Para la evaluación el proceso de enseñanza por parte del profesor, éste deberá rellenar, de la manera más objetiva posible, un cuestionario de autoevaluación. Este cuestionario servirá para la mejora de la práctica educativa en futuras ediciones del taller, permitiendo identificar carencias y proponer mejoras para maximizar el aprendizaje de los alumnos. Un posible ejemplo de cuestionario para esta autoevaluación se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5. Cuestionario para la evaluación del proceso de enseñanza, para su valoración por parte del profesor.

<b>Cuestión</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
La planificación temporal de las sesiones teóricas ha sido suficiente.					
La planificación temporal de cada proyecto se ajusta bien a su dificultad.					
Los alumnos han mostrado interés por aprender los principios de la impresión 3D.					
La dificultad de los proyectos ha sido adecuada para el alumnado.					
Los recursos materiales empleados en el taller han sido adecuados.					
Los recursos materiales empleados en el taller estaban en buen estado.					
Los recursos digitales empleados en el taller son adecuados y están actualizados.					
Los alumnos han tenido acceso a las impresoras 3D fuera del horario de las sesiones del taller.					
En general, la planificación temporal del taller ha sido adecuada para los proyectos propuestos.					
El trabajo en grupo de los alumnos ha sido beneficioso para su aprendizaje.					

El diseño de los proyectos ha sido adecuado para lograr los objetivos propuestos.					
El diseño de los proyectos ha logrado motivar a los alumnos hacia el aprendizaje de los contenidos.					
En general, los alumnos han mejorado su capacidad visual-espacial con la realización del taller.					

## 6. REFLEXIÓN Y VALORACIÓN FINAL

En este TFM, se ha diseñado un taller de impresión 3D orientado a la mejora de la capacidad visual-espacial del alumnado. Ésta es una capacidad de vital importancia para el desarrollo de las habilidades científicas del alumno, y que se pone en práctica de forma diaria, incluso en muchas de las asignaturas de los currículos de secundaria y bachillerato.

El motivo por el que se enmarca esta actividad en el contexto de la especialidad de matemáticas e informática es debido a su estrecha relación con muchos de los contenidos de las asignaturas del área. De manera más concreta, los bloques de geometría requieren de un cierto dominio de estas capacidades. Conforme el alumno llega a las etapas más avanzadas de la educación secundaria y del bachillerato, estas capacidades se vuelven más importantes.

A pesar de su relevancia, es habitual no darle la importancia que se merece en las asignaturas de los currículos. No sólo son las matemáticas las que requieren de un adecuado manejo de estas capacidades, sino también asignaturas científicas y tecnológicas como física y química, tecnología o dibujo técnico. De hecho, se puede encontrar una gran variedad de propuestas para la mejora de la visión espacial, vinculadas a las asignaturas de tecnología y dibujo técnico.

En mi caso personal, no he tenido experiencia directa en la docencia en secundaria o bachillerato, aunque sí la he tenido en la Universidad. He podido comprobar que incluso, alumnos que llegan a los cursos finales de carreras de ingeniería, muestran dificultades a la hora de plasmar diseños de modelos 3D en programas sencillos de modelado 3D. ¿Cómo es posible que sepan resolver ecuaciones integrales complejas y sin embargo tengan dificultades a la hora de parametrizar modelos 3D relativamente sencillos? El problema viene desde la base, con esa visión espacial que en muchos casos se asume que o se tiene o no se tiene. Pero nada más lejos de la realidad: es una habilidad que puede entrenarse y mejorarse, y su dominio proporciona más beneficios que inconvenientes.

El principal carácter innovador de la actividad propuesta reside en el uso de la impresión 3D, una tecnología relativamente nueva, para abordar la práctica de la capacidad visual-espacial en el alumnado. Como herramienta didáctica, las

impresoras 3D se han utilizado ampliamente en diversos ámbitos, como se ha descrito en la sección del marco teórico. Sin embargo, en muchos casos, sus aplicaciones han sido casi puntuales, y los alumnos no han tenido la experiencia de trabajar directamente sobre el proceso de fabricación. En este taller, se pretende que sean los alumnos los que aprendan cómo funciona, sus ventajas y sus limitaciones, y en base a ellas, puedan aplicar estos conocimientos para sus propios intereses. Esto se consigue por medio del aprendizaje basado en proyectos, proponiendo actividades que pueden resultar de interés para su nivel y que les pueden resultar motivadoras. El principal medio del aprendizaje es hacerles enfrentarse a diseños interesantes que quieran fabricar, y que tengan que resolver los problemas de fabricación derivados del diseño de manera analítica y razonada. Durante la actividad se les forma como “expertos” de la impresión 3D, pero el objetivo es que visualicen y manipulen objetos y formas tridimensionales.

En la práctica, el taller propuesto no presenta excesivas dificultades para su implementación. La mayoría de los recursos materiales y digitales suelen estar fácilmente disponibles en todos los centros educativos. El principal problema puede venir con la disponibilidad de impresoras 3D. Para el taller se ha planificado que cada grupo pueda disponer de acceso a una impresora 3D, pero no es un dispositivo que todavía sea habitual en todas las aulas de tecnología de los centros educativos. A pesar de ello, el coste de estas impresoras se ha venido reduciendo considerablemente a lo largo de los últimos años, y esto las hace muy atractivas para su uso como herramienta didáctica. El profesor que imparta el taller debe estar formado e interesado en la impresión 3D, aunque es fácil encontrar cursos y tutoriales en forma de recursos web con los que un docente puede aprender lo necesario para desenvolverse con los contenidos del taller.

Una ventaja que presenta la actividad es que es fácilmente adaptable a los diferentes cursos tanto de la ESO como de bachillerato. En este trabajo hemos diseñado una serie de proyectos orientados a alumnos que hayan cursado, al menos, cuarto curso de ESO, para que los conceptos de representación de las piezas en 3D sean relativamente familiares para ellos. No obstante, es posible aumentar el número de sesiones teóricas o el número de sesiones prácticas para alumnos de cursos inferiores para solventar estos

problemas. También es sencillo adaptar el nivel de los proyectos a cualquier curso educativo, introduciendo un mayor nivel de autonomía de los grupos sobre el proyecto en función del curso educativo al que está orientado.

Por otra parte, es necesario destacar que la actividad propuesta está centrada en un contenido que no forma parte explícita del currículo de secundaria o bachillerato. Por este motivo, el proyecto de innovación educativa se propone en forma de actividad complementaria o extracurricular. Esto significa que no todos los alumnos de un curso para el que se diseñe la actividad tienen por qué participar. No obstante, el profesorado puede fomentar la participación de los alumnos con algún tipo de recompensa (aumentar la nota final de la asignatura, por ejemplo).

De la misma forma, el profesorado de diferentes asignaturas puede implicarse con el diseño de la actividad para darle un carácter multidisciplinar y así enriquecer los contenidos del taller. En nuestro TFM hemos propuesto proyectos interesantes en los que se alentaba al alumnado a colaborar con el departamento de plástica para los proyectos 1 y 2, con la construcción de un tobogán para un colegio en el proyecto 3, y con un proyecto más personal en el proyecto 4. Pero hay multitud de proyectos que se podrían proponer en otros ámbitos. Por ejemplo, se podría diseñar un proyecto vinculado al aprendizaje del principio de Arquímedes en la asignatura de física y química. En ese proyecto, se podrían fabricar varias piezas iguales, pero con diferentes rellenos para las piezas impresas, de manera que su volumen efectivo sea diferente. Un objetivo de ese proyecto sería que los alumnos calculen el volumen teórico de la pieza de manera analítica, y posteriormente comprueben sus análisis de manera práctica en el laboratorio de física. De esta manera, se involucrarían conceptos matemáticos (cálculo analítico de volúmenes para piezas geométricas sencillas), físicos (principio de Arquímedes), tecnológicos (impresión 3D), y visión espacial (modelado 3D de las piezas). Como se puede comprobar, hay múltiples posibilidades de ampliación y adaptación de la actividad propuesta para diferentes niveles educativos.

Para concluir el trabajo, me gustaría destacar la experiencia que ha supuesto el diseño de un proyecto de carácter innovador como el que se ha desarrollado. Aunque la actividad se desarrolla intentando prever todos los posibles problemas que pueden aparecer, siempre hay dificultades

que aparecen durante el desarrollo de la actividad. Creo que la principal circunstancia que permitirá el éxito del taller de impresión 3D propuesto se la implicación del profesor con la actividad y con los alumnos. Por supuesto, conseguir la colaboración de profesores de los diferentes departamentos mencionados sería muy bueno de cara a plantear la actividad con carácter multidisciplinar. Personalmente es una actividad que me gustaría poder llevar a la práctica en un centro educativo, pues creo que como ya se ha descrito, aporta multitud de beneficios para el alumnado, especialmente a aquellos que quieran continuar estudios superiores en el ámbito técnico o científico. Además, puede ser una buena manera de fomentar el interés por las carreras del área *STEM* para los alumnos (hombres y mujeres) en las etapas de secundaria y bachillerato.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Additively. (2020a). Laser Melting (LM). *Overview over 3D printing technologies*.

<https://www.additively.com/en/learn-about/laser-melting>

Additively. (2020b). Stereolithography (SL). *Overview over 3D printing technologies*.

[https://www.additively.com/en/learn-](https://www.additively.com/en/learn-about/stereolithography)

<https://www.additively.com/en/learn->

[about/stereolithography](https://www.additively.com/en/learn-)

Armstrong, T. (1994). *Multiple Intelligences in the classroom* (6th ed.).

Association for Supervision and Curriculum Development.

Bak, D. (2003). Rapid prototyping or rapid production? 3D printing processes move industry towards the latter. *Assembly Automation*, 23(4), 340-345.

<https://doi.org/10.1108/01445150310501190>

Bull, G., Chiu, J., Berry, R., Lipson, H., & Xie, C. (2014). Advancing Children's

Engineering Through Desktop Manufacturing. En J. M. Spector, M. D.

Merrill, J. Elen, & M. J. Bishop (Eds.), *Handbook of Research on*

*Educational Communications and Technology* (pp. 675-688). Springer

New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3185-5\\_54](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3185-5_54)

Campbell, L., Campbell, B., & Dickinson, D. (1996). *Teaching & Learning through*

*Multiple Intelligences*. Allyn and Bacon, Simon and Schuster Education

Group, 160 Gould Street, Needham Heights, MA 02194-2315 (Order No.

Chery, D., Mburu, S., Ward, J., & Fontecchio, A. (2015). Integration of the Arts

and Technology in GK-12 Science Courses. *2015 IEEE Frontiers in*

*Education Conference (FIE)*, 1-4.

<https://doi.org/10.1109/FIE.2015.7344165>

- Ford, S., & Minshall, T. (2019). Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and education. *Additive Manufacturing*, 25, 131-150. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.028>
- Franceschini, S., Gori, S., Ruffino, M., Pedrolli, K., & Facoetti, A. (2012). A Causal Link between Visual Spatial Attention and Reading Acquisition. *Current Biology*, 22(9), 814-819. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.03.013>
- Gardner, H. (1987). The theory of multiple intelligences. *Annals of Dyslexia*, 37(1), 19-35. <https://doi.org/10.1007/BF02648057>
- Gardner, H. (1999). *Intelligence reframed: Multiple Intelligences for the 21st Century* (6th ed.). BasicBooks.
- Gardner, H. (2006). *Multiple intelligences: New horizons* (Completely rev. and updated). BasicBooks.
- Gimenez-Mateu, L., Nocito, G., Redondo, E., & Regot, J. M. (2010). *El dibujo de arquitectura como caso de estudio: Análisis integral de las aptitudes gráficas de los estudiantes en la educación secundaria y universitaria en Cataluña: Propuestas de mejora e incorporación de las TIC'S*. 146-150. <http://www.ugr.es/~aepc/VIIIIFORO/Documentos/Libros/libcapviiforo.pdf>
- Halil, N. I. (2017). The Actualization of Literary Learning Model Based on Verbal-Linguistic Intelligence. *International Journal of Education and Literacy Studies*, 5(4), 42. <https://doi.org/10.7575/aiac.ijels.v.5n.4p.42>
- Hassler, M., Birbaumer, N., & Feil, A. (1985). Musical Talent and Visual-Spatial Abilities: A Longitudinal Study. *Psychology of Music*, 13(2), 99-113. <https://doi.org/10.1177/0305735685132004>
- Holzmann, P., Breitenecker, R. J., Soomro, A. A., & Schwarz, E. J. (2017). User entrepreneur business models in 3D printing. *Journal of Manufacturing*

- Technology Management*, 28(1), 75-94. <https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2015-0115>
- Industrias Agapito. (2020). Tobogán tubo de evacuación ¡deslízate al recreo!  
*Proyectos - Industrias Agapito*.  
<https://www.industriasagapito.com/tobogan-tubo-de-evacuacion/>
- Joshi, S. C., & Sheikh, A. A. (2015). 3D printing in aerospace and its long-term sustainability. *Virtual and Physical Prototyping*, 10(4), 175-185.  
<https://doi.org/10.1080/17452759.2015.1111519>
- K.Azcaray, J., Martínez Torán, M., Leslabay, M., & Esteve Sendra, C. (2018). Educational Trend in Engineering: Perspectives in the use of Digital Manufacturing and 3D Printing. *International Journal of Innovative Trends in Engineering (IJITE)*, 41(63), 01-04.
- Kezar, A. (2001). A Theory of Multiple Intelligences: Implications for higher Education. *Innovative Higher Education*, 26(2), 141-154.  
<https://doi.org/10.1023/A:1012292522528>
- Kokotsaki, D., Menzies, V., & Wiggins, A. (2016). Project-based learning: A review of the literature. *Improving Schools*, 19(3), 267-277.  
<https://doi.org/10.1177/1365480216659733>
- Kusz, E. (2019). *Musical Intelligence and Its Impact on English Pronunciation Skills in the Process of Second Language Acquisition*. Peter Lang D.  
<https://doi.org/10.3726/b16166>
- Lohman, D. (1993). *Spatial ability and g*.
- Macdonald, E., Salas, R., Espalin, D., Perez, M., Aguilera, E., Muse, D., & Wicker, R. B. (2014). 3D Printing for the Rapid Prototyping of Structural

- Electronics. *IEEE Access*, 2, 234-242.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2014.2311810>
- Mahil, S. (2016). Fostering STEM+ education: Improve design thinking skills. *2016 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 125-129. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2016.7474542>
- Mantihal, S., Kobun, R., & Lee, B.-B. (2020). 3D food printing of as the new way of preparing food: A review. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 22, 100260. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100260>
- Mizar. (2016, septiembre 7). Tecnologías de fabricación aditiva: Fused deposition modeling. *Mizar additive manufacturing*. <http://mizaradditive.com/fused-deposition-modeling/>
- Morrison, R. G., Krawczyk, D. C., Holyoak, K. J., Hummel, J. E., Chow, T. W., Miller, B. L., & Knowlton, B. J. (2004). A Neurocomputational Model of Analogical Reasoning and its Breakdown in Frontotemporal Lobar Degeneration. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(2), 260-271. <https://doi.org/10.1162/089892904322984553>
- Nichols, M. R. (2019). How does the automotive industry benefit from 3D metal printing? *Metal Powder Report*, 74(5), 257-258. <https://doi.org/10.1016/j.mprp.2019.07.002>
- Okwuduba, E. N., Nwosu, K. C., Okigbo, E. C., Samuel, N. N., & Achugbu, C. (2021). Impact of intrapersonal and interpersonal emotional intelligence and self-directed learning on academic performance among pre-university science students. *Heliyon*, 7(3), e06611. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06611>

- Ortiz de Lejarazu, F. (2013, marzo 30). Visualización y Modelado de piezas en 3D. *educacionplastica.net*.  
<http://www.educacionplastica.net/model3d.htm>
- Ratto, M., & Ree, R. (2012). Materializing information: 3D printing and social change. *First Monday*, 17(7). <https://doi.org/10.5210/fm.v17i7.3968>
- Ricaurte, M., & Vilorio, A. (2020). Project-based learning as a strategy for multi-level training applied to undergraduate engineering students. *Education for Chemical Engineers*, 33, 102-111.  
<https://doi.org/10.1016/j.ece.2020.09.001>
- Roscoe, J. F., Fearn, S., & Posey, E. (2014). Teaching Computational Thinking by Playing Games and Building Robots. *2014 International Conference on Interactive Technologies and Games*, 9-12.  
<https://doi.org/10.1109/iTAG.2014.15>
- Šafranjić, J. (2016). Logical/Mathematical Intelligence in Teaching English as a Second Language. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 232, 75-82. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.10.019>
- Selby, C., & Woollard, J. (2013). *Computational thinking: The developing definition* [Project Report]. University of Southampton (E-prints).  
<https://eprints.soton.ac.uk/356481/>
- Shepard, R. N., & Feng, C. (1972). A chronometric study of mental paper folding. *Cognitive Psychology*, 3(2), 228-243. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(72\)90005-9](https://doi.org/10.1016/0010-0285(72)90005-9)
- Stavridou, F., & Kakana, D. (2008). Graphic abilities in relation to mathematical and scientific ability in adolescents. *Educational Research*, 50(1), 75-93.  
<https://doi.org/10.1080/00131880801920429>

- Stoet, G. (2021). *PsyToolkit*.  
[https://www.psychtoolkit.org/lessons/experiment\\_mentalrotation.html](https://www.psychtoolkit.org/lessons/experiment_mentalrotation.html)
- Tofail, S. A. M., Koumoulos, E. P., Bandyopadhyay, A., Bose, S., O'Donoghue, L., & Charitidis, C. (2018). Additive manufacturing: Scientific and technological challenges, market uptake and opportunities. *Materials Today*, 21(1), 22-37. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2017.07.001>
- Trujillo Bautista, F. M. (2018). *La inteligencia intrapersonal como medio para el desarrollo adecuado del autoconcepto, autoconocimiento y la autoestima en el estudiante de Educación Primaria* [Trabajo de investigación para optar al grado de bachiller en educación, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://core.ac.uk/download/pdf/323366656.pdf>
- Tseng, K.-H., Chang, C.-C., Lou, S.-J., & Chen, W.-P. (2013). Attitudes towards science, technology, engineering and mathematics (STEM) in a project-based learning (PjBL) environment. *International Journal of Technology and Design Education*, 23(1), 87-102. <https://doi.org/10.1007/s10798-011-9160-x>
- Vancea, F. (2017). The Body Intelligence—Description and Measurement. *SCIENTIFIC RESEARCH AND EDUCATION IN THE AIR FORCE*, 19(2), 231-234. <https://doi.org/10.19062/2247-3173.2017.19.2.33>
- Wright, R., Thompson, W. L., Ganis, G., Newcombe, N. S., & Kosslyn, S. M. (2008). Training generalized spatial skills. *Psychonomic Bulletin & Review*, 15(4), 763-771. <https://doi.org/10.3758/PBR.15.4.763>
- Yan, Q., Dong, H., Su, J., Han, J., Song, B., Wei, Q., & Shi, Y. (2018). A Review of 3D Printing Technology for Medical Applications. *Engineering*, 4(5), 729-742. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.07.021>

Yan, V. (2016). *Three-Dimensional Mental Rotation Training, Web App*.  
<https://vample.com/tools/mental-rotation/>

Zimmerman, A. E., & Dean, R. S. (2011). Visual-Spatial Intelligence. En S. Goldstein & J. A. Naglieri (Eds.), *Encyclopedia of Child Behavior and Development* (pp. 1548-1549). Springer US. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-79061-9\\_3041](https://doi.org/10.1007/978-0-387-79061-9_3041)

## 8. ANEXOS

### 8.1 Temporalización (en semanas) planificada para el desarrollo del taller

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ST1	■															
ST2		■														
ST3			■													
ST4				■												
ST5					■											
ST6						■										
PR1				■	■											
PR2						■	■	■								
PR3									■	■	■	■				
PR4													■	■	■	■
EVini	■															
EVpr					■			■				■				■
EVfin																■

Leyenda:

- STx: Sesión Teórica número x.
- PRx: Proyecto número x.
- EVini: Evaluación inicial
- EVpr: Evaluación de proyecto.
- EVfin: Evaluación final.

## 8.2 Rúbrica de evaluación de los proyectos propuestos

Indicador	Insuficiente	Mejorable	Adecuado	Excelente
<b>OE1</b>	El alumno ni comprende ni maneja adecuadamente las herramientas de modelado 3D.	El alumno comprende las herramientas de modelado 3D, pero tiene dificultades con su manejo.	El alumno comprende y maneja correctamente las herramientas de modelado 3D.	El alumno muestra un gran nivel de dominio de las herramientas de modelado 3D.
<b>OE2</b>	El alumno no comprende como trasladar el modelo 3D diseñado al formato adecuado para la impresora 3D.	El alumno entiende el proceso requerido para llegar hasta la impresión del modelo 3D, pero muestra dificultades a la hora de preparar los modelos.	El alumno sabe cómo trasladar el modelo 3D al formato adecuado para la impresora y prepara correctamente el modelo inicial de acuerdo con las características de la impresora.	El alumno domina el proceso de impresión 3D y es capaz de efectuar el proceso completo de forma rápida y eficiente.
<b>OE3</b>	El alumno no es capaz de visualizar el modelo por ordenador a partir de un objeto o imagen.	El alumno entiende cómo es el objeto o imagen para modelar, pero tiene dificultades al modelarlo.	El alumno es capaz de realizar el modelo 3D con un parecido razonable al objeto original.	El alumno realiza el modelado 3D correctamente y con todos sus detalles.

<b>OE4</b>	El alumno no comprende el funcionamiento de la cadena de impresión 3D.	El alumno comprende el funcionamiento de la fabricación capa por capa, pero no entiende sus limitaciones.	El alumno comprende la fabricación capa por capa y es capaz de manejar la pieza a imprimir en función de sus limitaciones.	El alumno entiende perfectamente el proceso de fabricación capa por capa y diseña modelos 3D teniendo sus limitaciones en cuenta desde el principio.
<b>OE5</b>	El alumno no sabe cómo orientar un modelo 3D para ser impreso sin problemas estructurales.	El alumno comprende la lógica para orientar el modelo 3D en la impresora, pero muestra dificultades con algunos modelos.	El alumno razona y es capaz de determinar la orientación adecuada de una pieza mediante un análisis razonado.	El alumno es capaz de identificar rápidamente los posibles problemas de orientación de la pieza y propone soluciones eficaces.

### 8.3 Rúbrica de evaluación para los informes de los proyectos

Indicador	Insuficiente	Mejorable	Adecuado	Excelente
<b>Organización y estructura</b>	La información está desorganizada y la estructura del documento no tiene sentido.	La estructura del documento es adecuada pero la organización del texto no es lo bastante coherente	La estructura del documento y la organización del texto es adecuada.	El documento está bien estructurado y la organización del texto permite seguir la información con facilidad.
<b>Calidad de la redacción</b>	La redacción del documento es mala y abundan las faltas ortográficas y de puntuación.	La redacción del documento es coherente, pero con muchas faltas ortográficas y errores gramaticales.	La redacción del documento es buena y se observan pocas faltas de ortografía o errores gramaticales.	La redacción del documento es buena y no hay errores de ortografía, puntuación o gramaticales.
<b>Contenido</b>	El contenido del documento no refleja el trabajo que han realizado los alumnos en el proyecto	El contenido refleja algunas de las cosas que han trabajado, pero en general, es insuficiente.	El contenido es completo y refleja correctamente el trabajo del grupo.	El contenido es muy completo y todo el trabajo está ampliamente detallado.
<b>Figuras y tablas</b>	No hay figuras ni tablas en el documento, o las que hay no se ajustan al contenido del documento.	Hay pocas figuras y tablas, pero se adecúan al contenido.	Las figuras y tablas son adecuadas y apoyan el contenido del documento.	Las figuras y tablas son adecuadas y además incluyen títulos para ser auto contenidas.

## 8.4 Rúbrica para la evaluación del trabajo en grupo en los proyectos

Indicador	Insuficiente	Mejorable	Adecuado	Excelente
<b>Organización del grupo</b>	El grupo no sabe organizarse, se solapan las tareas y no hay una dirección de trabajo clara.	La organización del grupo es insuficiente y el reparto de tareas es desigual, pero se consigue tener el trabajo hecho.	La organización del grupo es buena y el reparto de tareas es adecuado.	La organización es muy buena y el reparto de tareas es igualitario. Se toman las decisiones y se asumen las responsabilidades de forma equilibrada.
<b>Planificación del tiempo de trabajo</b>	No se ha adecuado el tiempo de trabajo a las necesidades de las tareas y se dejado casi todo para el final.	El tiempo no se ha adecuado a las tareas, pero se han cumplido los plazos y ajustado a los tiempos esperados.	Se ha dedicado el tiempo necesario a las tareas planteadas para llegar a las fechas de entrega.	Se ha planificado las tareas con suficiente antelación y os ha sobrado tiempo.
<b>Participación individual en las tareas del grupo</b>	Los alumnos eluden la responsabilidad y prefieren que el trabajo se lo cargue otro compañero.	Se discute el reparto de tareas entre los miembros del equipo para participar en las tareas, pero se intenta trabajar lo menos posible.	Se toman decisiones en conjunto sobre el reparto del trabajo y todos los miembros trabajan aproximadamente lo mismo.	El grupo se coordina eficientemente y los miembros participan activamente en el reparto de tareas entre ellos.