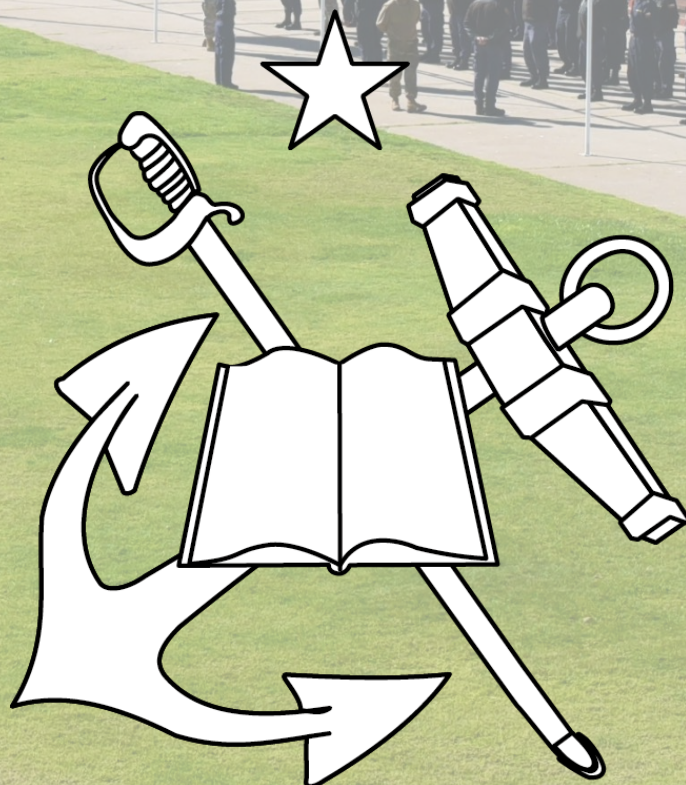
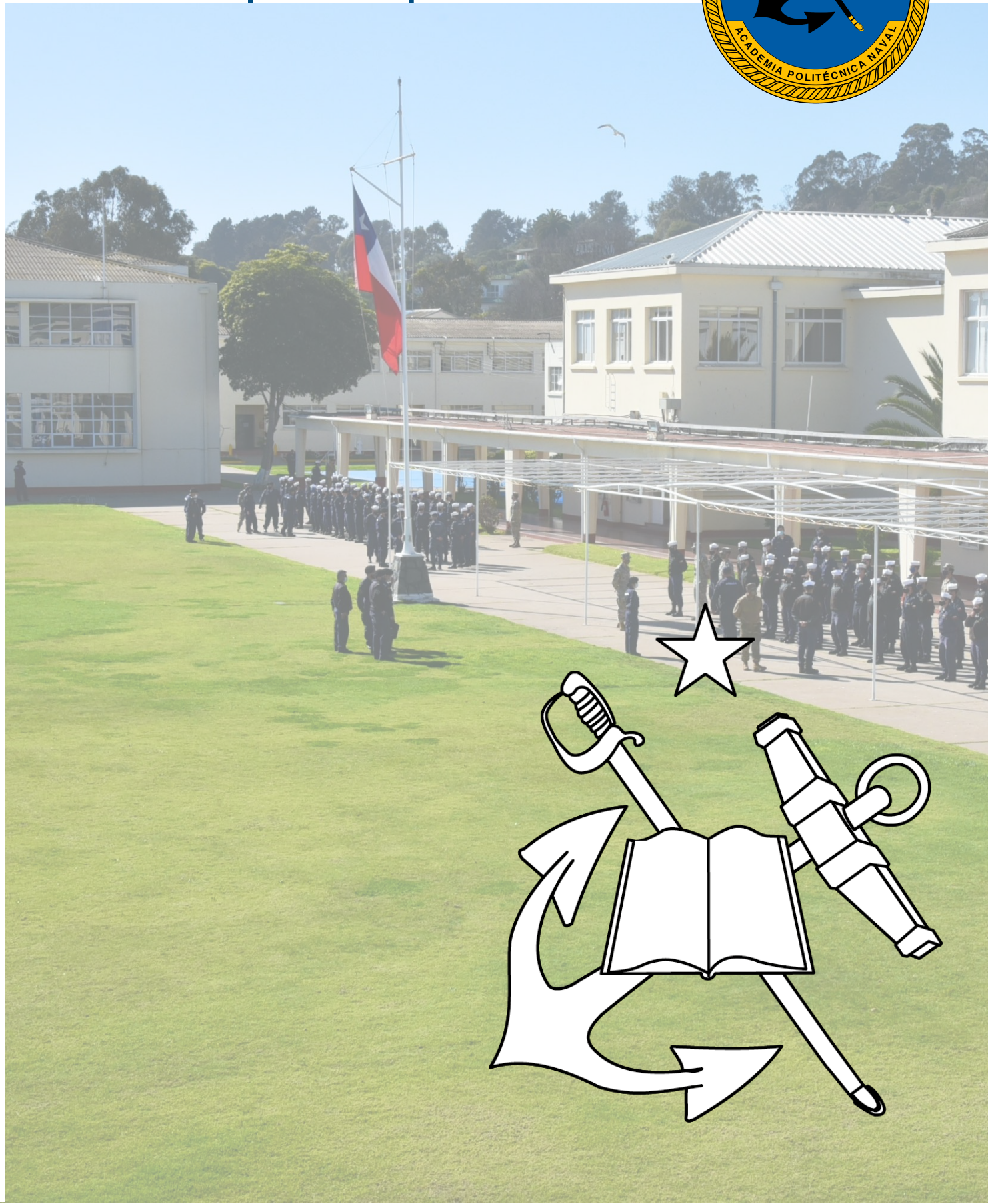


Revista
APN XXI
Ciencia, esfuerzo y tradición





Revista APN XXI

Volumen 8, Número 1, 2022

Comité Editorial

Presidente

Capitán de Navío Sr. Fabián González González

Integrantes

Capitán de Navío Sr. Francisco Mackay Imboden

Capitán de Navío Sr. Jaime Valenzuela Rodríguez

Capitán de Corbeta Sr. Álvaro París Araneda

Comité Ejecutivo

Capitán de Corbeta AB Héctor Cifuentes Espinoza

Teniente 2° Diego Lledó García-Huidobro

Carlos Vidal Stuardo

Cynthia Cáceres Escobar

David Valenzuela Zuñiga

Carolina Olivares Palma



Presentación

El aporte que la Armada de Chile hace al país no se circunscribe sólo al ámbito de la defensa de la soberanía e integridad territorial, sino que abarca también ayuda a la comunidad frente a una emergencia nacional y acciones de protección civil, cooperación internacional y apoyo a la política exterior, seguridad e intereses del territorio marítimo, y contribución al desarrollo nacional y a la acción del Estado.

Análogamente, la Academia Politécnica Naval contribuye al logro de la misión de la Armada de Chile no sólo cumpliendo actividades guarnicionales de apoyo a la comunidad y formando los técnicos y profesionales que ella requiere, sino que en general, personas de bien que, con un actuar basado en principios, valores y patrones de conducta éticos, aporten positivamente a nuestra sociedad, y en particular, a través de su departamento de investigación e innovación, vinculando a la institución con el ecosistema de innovación nacional, para fomentar la investigación y el desarrollo tecnológico, de manera de estimular la productividad, induciendo con ello, crecimiento económico sustentable y desarrollo social.



Entre las iniciativas impulsadas por la Academia se cuenta el Encuentro de Innovación Pública “INNOAPOLINAV” que año a año reúne a actores de la educación, la empresa y el sector público, propiciando el desarrollo de redes de colaboración, el Desafío de Innovación Abierta “AVANTE” que plantea problemáticas del ámbito naval y marítimo para que se desarrollen a nivel nacional, alternativas de solución innovadoras de carácter dual, estimulando así el emprendimiento, un Desafío de Innovación intra Institucional “RIZO” que procura contribuir al desarrollo de una cultura innovadora en el personal de la Armada de Chile y durante el año 2023 se espera desarrollar la primera versión de un programa denominado “PROA I+D” tendiente a potenciar la relación con universidades y centros de I+D, a fin de realizar investigación aplicada de manera asociativa con investigadores nacionales e internacionales en áreas o líneas de investigación que tengan aplicación a necesidades institucionales.

En este mismo contexto y a fin de fomentar al desarrollo de una cultura de investigación en la Academia Politécnica Naval, anualmente se publica la Revista “APOLINAV XXI”, cuya octava versión presento, agradeciendo el aporte de los autores de los artículos que la conforman y reiterando la invitación a todos los investigadores civiles o militares, de dotación o no en esta Academia, que deseen difundir a través de ella, los resultados de sus respectivas investigaciones.



Editorial

Comprendiendo que un sistema se constituye de elementos que interactúan recíprocamente y con el ambiente que les circunda, es posible afirmar que casi todo, o quizá todo, es sistémico. Esto, debido a que no hay nada que no esté compuesto de algo, ni algo en su periferia con lo que no tenga relación. En términos más simples, todo sistema se compone de subsistemas y a su vez es parte de un sistema mayor (macro sistema).

En este marco de referencia, lo que define a un sistema son sus interrelaciones y su capacidad para adaptarse a las variaciones en su medio, para así mantener con él, un acoplamiento estructural (homeostasis).

La anterior premisa adquiere particular importancia cuando consideramos que el sistema no exporta al ambiente un único producto, sino múltiples, algunos de las cuales generan beneficios mientras que otras, provocan efectos perjudiciales. Como el propósito principal del sistema es colaborar en la consecución del objetivo del macro sistema al que pertenece, si el total de las consecuencias aporta un valor neto positivo, el macro sistema lo avala, pero si la valoración neta es negativa, el macro sistema lo descarta.

Por ello, y considerando que el entorno está en constante transformación, la innovación se vuelve crucial. Al variar las necesidades y expectativas que el entorno tiene del sistema, éste debe incorporar cambios para adecuarse a estos nuevos requerimientos y así mantener o incrementar la valoración que de él hace el macro sistema. Es decir, algo nuevo (ya sea un nuevo producto, proceso, modelo de negocio, etc.), pero que le aporte valor.

Por otro lado, estos mismos cambios en el entorno proporcionan al sistema nuevos elementos que le permiten optimizar sus procesos, impulsando cambios que facilitarán la consecución de sus metas, añadiéndole valor, es decir, innovando.

Pero estas transformaciones en las necesidades y expectativas, así como en los recursos que se ponen al alcance del sistema, no sólo ocurren en el entorno externo, sino también en el ámbito interno. En el caso de las organizaciones, sus colaboradores también están modificando constantemente lo que esperan de ella, factor crucial para su nivel de motivación y compromiso, lo cual también constituye un motivo adicional para la innovación.

Para implementar estos imprescindibles procesos de innovación, es necesario llevar a cabo estudios que permitan identificar estos nuevos requerimientos así como los nuevos recursos disponibles, y cómo responder ante ellos. A esto, la Revista APOLINAV XXI busca contribuir, como un canal para que el personal de la Academia Politécnica Naval, tanto de planta como académicos y en formación, adquiera y potencie esta competencia.

En esta edición, los artículos derivados de dichas investigaciones tratan temas como el carácter caótico del proceso de enseñanza-aprendizaje, el concepto de calidad en el proceso educativo, la experiencia personal y profesional de 52 años en la Armada de Chile, un procedimiento de manufactura aditiva para generar repuestos a bajo costo, rápidamente y cumpliendo con estándares establecidos, la importancia del análisis financiero para la toma de decisiones, la viabilidad técnica para la utilización de Hidrógeno Verde como fuente energética, y el crecimiento económico y su repercusión en el bienestar de la población.

Estos trabajos ponen de manifiesto la importancia de la innovación y la adaptabilidad en el contexto cambiante de nuestra sociedad y medio ambiente. Reflejan también el compromiso continuo de la Revista APOLINAV XXI y de la Academia Politécnica Naval con la promoción del pensamiento crítico, la



investigación de vanguardia y la formación de líderes capaces de navegar y prosperar en estos tiempos dinámicos y desafiantes.

Agradecemos a nuestros autores, lectores y al personal de la Academia Politécnica Naval por su dedicación y esfuerzo en la elaboración de esta edición. Esperamos que encuentren los artículos tanto informativos como inspiradores, y que fomenten aún más la importancia de la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación, así como la adaptabilidad en nuestras vidas cotidianas y en nuestros roles dentro de sistemas más complejos.

Finalmente, invitamos a todos a seguir explorando, innovando y adaptándose a los cambios del entorno. Recordemos que nuestra capacidad para hacerlo no sólo determina nuestra supervivencia en el macro sistema, sino que también contribuye al progreso de toda la sociedad. En esta constante evolución, la Revista APOLINAV XXI se enorgullece de ser un recurso confiable y un catalizador de conocimiento, listo para apoyar el proceso continuo de aprendizaje y adaptación.

Comité editorial 2023



Contenido

Enseñanza, aprendizaje y caos Alejandro Valenzuela Zúñiga y Eugenia Berroeta Saavedra	5
Hacia un concepto de calidad Erna Díaz Cruz	13
Importancia del análisis financiero para la toma de decisiones T2° AB Cristobal Stierling Tapia	20
Estudio de factibilidad técnica para la utilización de Hidrógeno Verde como fuente energética en el Campus Hyatt de la Academia Politécnica Naval T2° Sra. María José Ulloa González	24
Caracterización mecánica y metalúrgica de piezas de acero inoxidable elaborados mediante manufactura aditiva T2° Sr. Juan José Rosales Morales	47
Crecimiento económico y bienestar Carlos Vidal Stuardo	76
Todo pasó demasiado rápido CN Sr. Miguel Vásquez Muñoz	84



Enseñanza, aprendizaje y caos

Dr. Alejandro Valenzuela Zúñiga

dvalenzuela@apolinav.cl

Mag. Eugenia Soledad Berroeta Saavedra

eberroeta@armada.cl

Resumen

Variados son los intentos y desde distintas perspectivas, para hacer más efectivo el proceso educativo. En este escrito se establece una analogía entre las simplificaciones realizadas por Edward Lorenz de las ecuaciones de Barry Saltzman y el proceso educativo, pensado como un sistema caótico y complejo.

Palabras clave: variables educativas, sistemas caóticos, didáctica, docente, estudiantes.

Abstract

Varied are the attempts and from different perspectives, to make the educational process more effective. In this paper an analogy is established between the simplifications made by Edward Lorenz of Barry Saltzman's equations and the educational process, thought of as a chaotic and complex system.

Keywords: Educational variables, chaotic systems, didactic, teachers, students.

El sistema educativo ha posibilitado la construcción de una gama de subsistemas interdependientes, como el pedagógico, el didáctico y el curricular, que se vinculan de una manera tal que constituyen la educación como un sistema complejo (López, 2002). Por otro lado, un sistema físico caótico se caracteriza por ser altamente sensible a las condiciones iniciales; pequeñas variaciones pueden implicar, en un futuro, grandes diferencias en su comportamiento. Algunos ejemplos son el sistema solar, las placas tectónicas, los fluidos en régimen turbulento, el crecimiento de la población, algunos modelos económicos, el péndulo caótico, el péndulo doble, entre otros.

La educación, en una primera instancia y como un ejercicio reflexivo, puede ser pensado de manera análoga a un sistema físico caótico, pues los efectos de las decisiones tomadas, en el presente, se podrían observar en los estudiantes dentro de 10 a 15 años y la manera de abordar el problema, es solo mediante aproximaciones y soluciones acotadas. Aun así, un sistema físico caótico puede poseer y/o tender a estados de equilibrio, lo anterior nos hace creer que en el campo de la educación, esto también debiera suceder.

El concepto de caos, surge en el campo de la física, con los trabajos de Edward Lorenz en 1963, quien tratando de encontrar un modelo matemático para predecir el comportamiento de la atmósfera, propone una serie de simplificaciones a las ecuaciones originales, con base al modelo propuesto por Bénard¹ para la convección libre. Al ser modeladas en un computador, estas ecuaciones diferenciales, producto de la simplificación del problema de la conducción libre en la atmósfera, describían una extraña figura con forma de ala de mariposa. Este hallazgo marcaría el inicio del estudio de sistemas caóticos, tanto en el campo de la física, la matemática y su futura consideración para el estudio del comportamiento social. El comportamiento de estas ecuaciones simplificadas que se “alejan” de las fundamentales, pero

¹ Tipo de convección que se da en espacios reducidos y confinados cuando el gradiente de temperatura en el fluido produce una estratificación inestable de la densidad en dirección vertical, produciendo un patrón regular de celdas conocidas como celdas de Bénard.



entregan una respuesta aproximada y útil para la predicción del tiempo, pueden ser pensadas, a modo de analogía, a las decisiones que debe tomar el docente o un constructor de políticas públicas en el campo de la enseñanza y educación respectivamente, es decir, la toma de decisión en ambos casos implica identificar las variables involucradas, las condiciones de contorno y las condiciones iniciales del problema, para luego de un análisis y reflexión de la situación problema, seleccionar ciertas variables por sobre otras.

El objetivo de este breve ensayo es vincular, a modo de analogía, el “problema educativo sobre la enseñanza aprendizaje” y el modelo que se aplica a los sistemas caóticos, para finalmente construir algunas conclusiones y reflexiones.

El padre de la mariposa

La atmósfera es considerada un fluido complejo, debido a las relaciones entre sus variables físicas, tales como velocidad, presión, temperatura, densidad y humedad, como así también debido a la interdependencia que existe entre ellas. Estas variables pueden poseer condiciones iniciales distintas para cada punto del espacio atmosférico, además, toman distintos valores en las tres dimensiones espaciales y en el tiempo. Debido a lo anterior, modelar matemáticamente esta situación física atmosférica, es un problema de difícil solución.

Uno de los mayores desafíos, en el campo de la meteorología, es la modelación de la transferencia de calor por convección, desde la superficie terrestre y, principalmente, de los mares hacia la tropósfera; fenómeno que da origen a las famosas nubes tipo cúmulus nimbus. La tropósfera, al tener un gradiente de temperatura negativo y una menor densidad que la superficie terrestre y marina, hace que el vapor de agua se enfríe violentamente produciendo lluvias, tormentas eléctricas y granizos.

La situación anterior, supone que cuando se calienta la parte inferior, el calor se transporta a la superficie por conducción, el cual no está influenciado por el movimiento del fluido. También supone que el movimiento del fluido es solo en el plano, no hay movimiento de fluido en el eje z . Cuando el gradiente de temperatura entre la parte inferior y la superior no suficientemente grande, aparece caos. Las ecuaciones que describen este proceso de calentamiento propuestas por Bernad son:

$$\frac{\partial v_x}{\partial t} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} = g\epsilon \Delta T \delta_{i3} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \nabla^2 v_x$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + v_y \frac{\partial T}{\partial y} = \kappa \nabla^2 T$$

$$\frac{\partial v_y}{\partial x} = 0$$

Donde,

x, y	son coordenadas espaciales
v_x	es la componente x de la velocidad
v_y	es la componente y de la velocidad
ϵ	es el coeficiente termal de expansión
t	es el tiempo
ν	es la viscosidad
g	es la gravedad
δ_{i3}	es el tensor de esfuerzo
p	es el campo de presión fluido
T	es el campo de temperatura
κ	es el coeficiente de conducción térmica

A partir de estas ecuaciones no lineales, cuya solución no es posible de encontrar de manera analítica solo mediante métodos numéricos, es permitido obtener soluciones aproximadas, a partir de distintos



valores iniciales para las variables. Lorenz en 1963 realiza una simplificación de éstas, que lo hizo dudar, si verdaderamente, describían el comportamiento de la atmósfera.

El modelo quedó simplificado a tres ecuaciones diferenciales ordinarias:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= \sigma(y - x) \\ \frac{dy}{dt} &= -xz + rx - y \\ \frac{dz}{dt} &= xy - bz\end{aligned}$$

Donde,

$$r = \frac{R_a}{R_c} \quad \text{número de Prandtl}$$

$$\sigma = \frac{\nu}{\kappa} \quad \text{reescalamiento del tiempo}$$

$$R_a = g\epsilon H^4 \frac{\Delta T}{\kappa \nu} \quad \text{número de Rayleigh}$$

$$R_c = \pi^4 (1 + a^2)^3 a^{-2} \quad \text{Rayleigh crítico}$$

$$a = \frac{H}{l_x}$$

$$b = \frac{4}{1 + a^2} \leq 4$$

El número adimensional de Rayleigh está asociado a la transferencia de calor al interior de un fluido, cuando está por debajo de cierto valor crítico, la transferencia de calor ocurre por conducción, cuando está por sobre el valor crítico, la transferencia de calor ocurre principalmente por convección.

El número de Prandtl es la razón entre la viscosidad cinemática y la difusión térmica. El inverso del primer término nos da el tiempo que tarda en relajarse una perturbación en el campo de velocidades (de la vorticidad) y la segunda en el campo de la temperatura.

El diagrama que describe la evolución en el tiempo de estas ecuaciones diferenciales, para valores de $r = 28$, $\nu = 10$ y $b = 8/3$ se observa en figura 1, el cual tiene forma de mariposa y se denomina “atractor”. De ahí que el proverbio chino “el aleteo de las alas de una mariposa se puede sentir al otro lado del mundo” es una buena metáfora para entender como primer acercamiento al comportamiento de un sistema caótico.

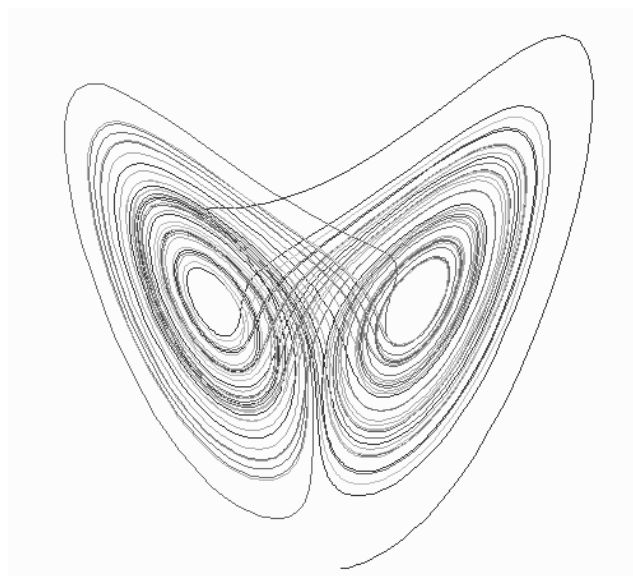


Figura 1: Atractor de Lorenz para $r = 28$, $\nu = 10$ y $b = 8/3$.



Caos y el proceso educativo

El proceso educativo puede ser entendido como un “proceso integrado, orgánico; el resultado de un sistema complejo donde las interacciones entre los varios componentes son tanto o más importante que los efectos individuales y aislado de cada componente” (Pérez, Bellei, Raczynski, Muñoz, 2004, p. 5).

Por ejemplo, en la toma de decisiones con respecto al proceso de enseñanza y aprendizaje es necesario tomar decisiones en relación con: ¿cuánto tiempo se dedicará a cada sesión ¿qué ejemplos se darán?, ¿qué aspectos teóricos se enfatizarán?, ¿se realizarán experimentos o no?, ¿se hará una profundización en los aspectos matemáticos o el foco será más cualitativo? y ¿qué metodología de enseñanza se usará? Son ejemplo, de decisiones e interrogantes que debe resolver el docente antes y durante el desarrollo de una asignatura.

Gutiérrez y Campanario (2000) indican, respecto a las variables macros implicadas, en el proceso enseñanza aprendizaje y el fracaso escolar que

... probablemente las causas sean múltiples y resulte complicado abordarlas todas a la vez, como un todo. Parte de la responsabilidad del fracaso está en los alumnos, parte en los profesores y, seguramente, otra parte esté en el contexto escolar y en la propia sociedad (p. 156).

A lo anterior, se agregan las dificultades que son innatas al saber enseñado, por ejemplo, el saber físico, el matemático y otros.

El estudio de Cornejo y Redondo (2007) presenta una revisión sobre las principales variables y factores asociados al aprendizaje escolar, las que han sido abordadas de distintas perspectivas teóricas. El estudio da cuenta de tres grandes tradiciones investigativas de los procesos de enseñanza y aprendizaje las que se basan en: las teorías de aprendizaje por “reestructuración”, la tradición de estudios que pretende comprender las dinámicas de la Escuela como una institución compleja y, finalmente, la tradición de estudios sobre la eficacia escolar con sus distintos énfasis y áreas de investigación.

En el primer grupo de estudios, el foco está puesto en los procesos de las llamadas teorías constructivista del aprendizaje humano y su ocurrencia en el contexto de la sala de clase. El segundo grupo, es una corriente de investigación que comparte una mirada de causalidad no lineal de los procesos y resultados de la escuela, una visión no racionalista sino cultural. Finalmente, el tercer grupo, considera los estudios de productividad escolar enmarcados más bien en el campo de la economía de la educación, siendo las que más difusión han tenido, a través de sus variados centros de investigación y han influido sobre los decidores de políticas educativas (Cornejo y Redondo, 2007).

Así, cada una de estas grandes tradiciones de investigación han identificado distintas variables de distinta naturaleza. Cornejo y Redondo, 2007, haciendo referencia a Brunner y Elacqua, 2004; Banco Mundial 1995; Gerstenfeld, 1995; distinguen entre las variables de escuela (ver figura 2) y las variables de origen de los estudiantes (ver figura 3), las que a su vez se subdividen en variables de la comunidad de origen, y variables del hogar de origen.

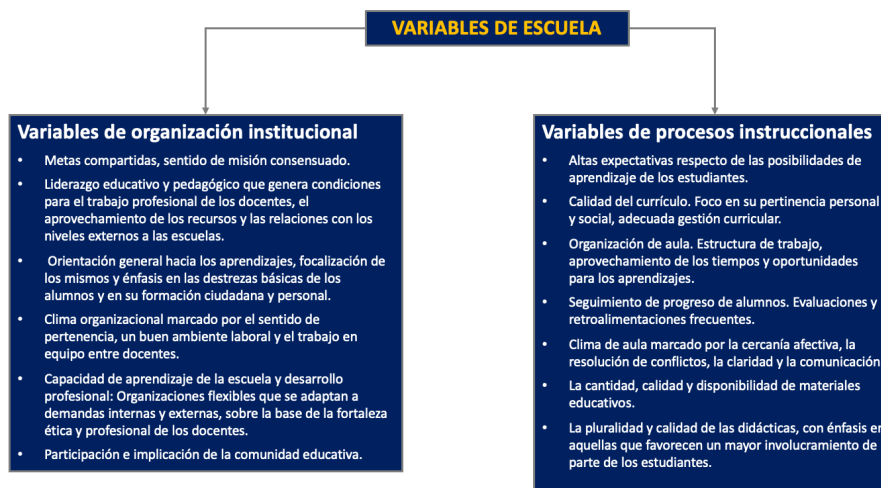


Figura 2: Variables de escuela. Esquema construido a partir de Cornejo y Redondo, 2007, p. 160.

En el año 2004 Pérez, Bellei, Raczyński y Muñoz realizaron un estudio en 14 escuelas que educaban preferentemente a estudiantes de familias de nivel socioeconómico bajo o medio-bajo las cuales obtenían resultados de aprendizaje significativamente superior en comparación con otras que trabajaban en contextos similares. Los resultados fueron publicados en un libro titulado ¿Quién dijo que no se puede? Escuelas efectivas en sectores de pobreza, el cual indica una superioridad pedagógica de los docentes de las escuelas eficaces; buenos ambientes didácticos, adecuada gestión de los grupos de estudiantes, apoyos cognitivos y emocionales. También el estudio confirma la importancia que tienen las expectativas de los docentes sobre los resultados de sus estudiantes, así como la capacidad de hacerse cargo de todo ellos aún con el promedio de 40 estudiantes por aula, con prácticas pedagógicas que destacan por clases motivadoras, cercanas a la vida cotidiana, con propósitos claros, estructura, ritmo, alto aprovechamiento de los tiempos, exigentes, con predominio de refuerzos positivos, evaluaciones y retroalimentación regular de los aprendizajes de los estudiantes.

Otro resultado, importante de mencionar es que los buenos resultados de manera permanente en el tiempo, no son un producto de un factor aislado, sino una consecuencia de los esfuerzos recíprocos entre la gestión y el aula; donde la primera está centrada en lo pedagógico y no en lo financiero.

En el año 2015, Bellei, Morawietz, Valenzuela y Vanni en conjunto con UNICEF publican un libro titulado Lo aprendí en la escuela. Cómo se logran procesos de mejoramiento escolares en el cual se investiga las trayectorias de escuelas del estudio de 2004 que aumentaron su efectividad educativa en forma sostenida a través del tiempo. El estudio muestra que lo anterior es difícil de lograr, pues solo una de cada diez escuelas en Chile lo había realizado en un periodo de 10 años. Así también, los resultados ratificaban la importancia que tienen las comunidades escolares (variables de escuela) pues ante contextos socioculturales similares (variables de origen de los estudiantes) presentaban trayectorias y resultados diferenciados.

...encontrar trayectorias de mejoramiento sostenido era más frecuente entre las escuelas con alumnos de bajo nivel socioeconómico, el desempeño que alcanzaban las escuelas estaba fuertemente condicionado por el nivel socioeconómico de sus alumnos: el promedio de efectividad escolar de las escuelas de alto logro que educan a estudiantes vulnerables podía ser considerado solo regular al compararlo con la distribución del desempeño de las escuelas que educan a la población de mayor capital socioeconómico y cultural (Bellei, Morawietz, Valenzuela, Vanni, 2015, p. 17).

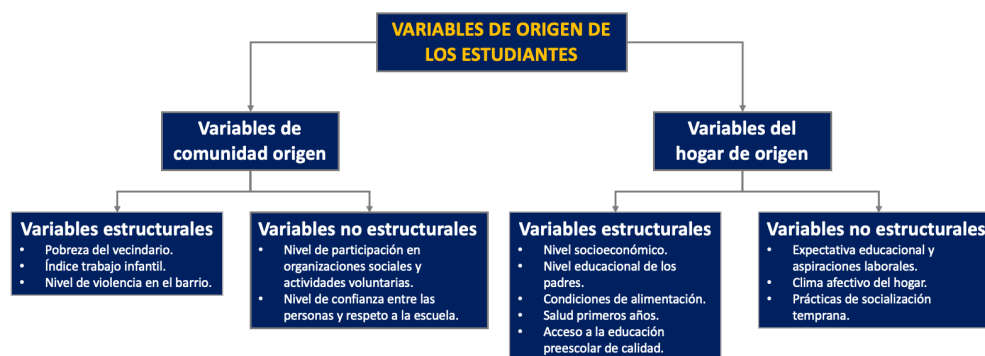


Figura 3: Variables de origen de los estudiantes. Esquema construido a partir de Cornejo y Redondo, 2007, p. 162.

Reflexión

Las variables de origen de los estudiantes, vienen a ser las variables que determinan las condiciones iniciales del problema educativo referido al proceso enseñanza y aprendizaje, las cuales no puede cambiar el docente o el establecimiento, quizás este último pueda transformar algunas de estas, pero son casos especiales, aislados, en el cual confluyen condiciones que lo posibilitan, sin embargo, no es lo que sucede en la mayoría de los establecimientos educacionales (Pérez, Bellei, Raczynski y Muñoz, 2004).

Las variables de escuela, vienen a ser las variables de contorno del problema enseñanza aprendizaje, variables que tienen que ver directamente con la cultura organizacional de la institución y con la comunidad educativa. Casos de escuelas exitosas hay varios en Chile, como menciona Pérez, Bellei, Raczynski y Muñoz (2004).

Muchos constructores de políticas, administrativos y gestores educacionales se centran en las variables de origen atribuyendo un efecto modesto a las escuelas sobre las transformaciones sociales y culturales que pueden hacer. Mientras otros consideran que las variables de escuela son las que están directamente relacionadas con los aprendizajes de los estudiantes.

Lo anterior pone a lo pedagógico y al docente al margen, contradiciendo los estudios que demuestran que la variable del docente es la que más influye en la calidad de enseñanza y por ende en el aprendizaje (Mckinsey, 2007). La centración en las condiciones iniciales (variables de origen) y las variables de contorno (variables de escuela) por parte de legisladores demuestran el poco impacto que ha tenido este tipo de políticas. Además, un cuerpo docente de calidad hará que las variables de escuela puedan transformarse; por lo tanto, estas últimas podrían considerarse como una consecuencia de la calidad del cuerpo docente.

Justamente, la investigación de Pérez, Bellei, Raczynski y Muñoz (2004) concluye que las escuelas más exitosas, son las que se centran en lo pedagógico, donde la gestión institucional está al servicio del proceso enseñanza y aprendizaje, existen proyectos educativos compartidos y coherentes con las prácticas docentes, así lo que esperan los docentes de sus estudiantes, está en simetría con lo que el equipo directivo espera de sus docentes, por lo tanto existe una alta expectativa respecto a la calidad del cuerpo docente y respecto a los aprendizajes de los estudiantes.

Al centrarnos en el docente, pareciera que simplificamos el problema de la enseñanza y aprendizaje, tal como lo hizo Lorentz, pues como docentes consideramos algunas variables iniciales, otras contextuales,



para la planificación y realización de las clases, es decir, determinamos de manera aproximada las condición inicial en nuestros estudiantes, las condiciones del contexto escolar (escuelas, universidad) e incluso ignorarlas al momento de escoger una metodología y/o estrategias pedagógicas.

Esta simplificación de todas estas variables que influyen en la enseñanza y aprendizaje al momento tienen consecuencias en los estudiantes que desconocemos por completo como docente, sólo podemos tener una idea vaga, una noción sobre lo que sucederá con los estudiantes en el futuro, en cómo repercutirá las decisiones respecto a la enseñanza, pero no con certeza.

En esta simplificación y centración en la enseñanza de un determinado contenido y por tanto del docente, el campo científico de la didáctica toma un rol protagónico, que considera solo tres variables, al menos desde la didáctica francesa clásica, el saber a ser enseñado, el docente y el estudiante (Brousseau, 1998). Lo anterior, supone, a modo de aproximación y como parte de las condiciones iniciales de esta nueva centración en la enseñanza (simplificación del problema) que el docente tiene un conocimiento profundo de su disciplina, que el estudiante no tiene necesidades educativas especiales y que el saber enseñado tiene dificultades propias a su naturaleza, pero que el docente las comprende e identifica en su gran mayoría. Ahora las condiciones de contorno (contexto) de este problema simplificado serían el tiempo que se le dedica a una determinada situación didáctica, los recursos que se escogen, la distribución de los contenidos y cómo se decide abordar las dificultades didácticas del contenido.

Como docente, puedo escoger para enseñar, por ejemplo, un objeto matemático, el cual implica una transposición didáctica (Chevallard, 1997), que luego se alinea a un determinado resultado de aprendizaje; se crea una situación didáctica que gatille ciertos comportamientos o acercamiento al objeto matemático por parte de los estudiantes. Todo lo anterior no dice nada respecto a cuál es finalmente la imagen que formará en la mente el estudiante del objeto matemático transpuesto y enseñado, tampoco dirá la profundidad con la que se aprendió, sólo se puede tener un acercamiento parcial a través de las evaluaciones y el conocimiento puesto en uso, pero el “acceso al aprendizaje del estudiante” es limitado y parcial.

Entonces el proceso de enseñanza y aprendizaje es un “problema”, un sistema que tiene un comportamiento caótico, donde pequeñas variaciones en las decisiones que el docente toma pueden tener consecuencias impensadas en el futuro de los estudiantes. Su abordaje implica hacer aproximaciones transformando el problema desde un ámbito social, multivariable, complejo a uno acotado al docente y el contenido a ser enseñado. Pareciera que estas no tienen ninguna relación con el problema macro, pero distintos estudios muestran que la calidad de la enseñanza está directamente relacionada con la calidad del docente, como la principal variable (Mckinsey, 2007), si bien en los últimos años se han construido e implementados políticas públicas que fortalecen al cuerpo docente, buscan atraer jóvenes talentosos para estudiar pedagogía, en los últimos años se ha observado una disminución en la cantidad de estudiantes que cursan pedagogía, como también el cierre de carreras de pedagogía, sobre todo en el área de las ciencias experimentales.

Referencias bibliográficas

Bellei, C., Morawietz, L., Valenzuela, J.P., y Vanni, X. (2015). Nadie dijo que era fácil. Escuelas efectivas en sectores de pobreza, diez años después. LOM ediciones.

Brousseau, G. (2007). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble. La Pensée Sauvage (primera edición en francés, 1998).

Chevallard, Y. (1997). *La transposición didáctica. Del Saber Sabio al Saber Enseñado*. AIQUE.



Cornejo, R. y Redondo, M. J. (2007). Variables y factores asociados al aprendizaje escolar. Una discusión desde la investigación actual. *Estudios Pedagógicos*, 33(2), 155-175.

Gutiérrez, J. O., y Campanario, J. M. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de Ciencias. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 18(2), 155-170.

López, J. V. (2002). La educación como un sistema complejo. *Revista Islas Cuba*, 44(132), 113-127.

Lorenz, E. N. (1963). Deterministic nonperiodic flow. *Journal of the atmospheric sciences*, 20(2), 130-141.

McKinsey (2007). ¿Cómo hicieron los sistemas educativos con mejor desempeño del mundo para alcanzar sus objetivos? McKinsey&Company.

Pérez, L. M., Bellei, C., Raczynski, D., y Muñoz, G. (2004). ¿Quién dijo que no se puede? *Escuelas Efectivas en Sectores de Pobreza*. UNICEF.



Hacia un concepto de calidad

Dra. Erna Díaz Cruz
ernadiaz@yahoo.es

Resumen

Definir calidad no es un tema que resulte fácil de hacer, especialmente cuando se refiere al ámbito educativo. Muchos estudios coinciden en que la calidad es un concepto polisémico que carece de una definición común que podría ser aplicable en todos los campos, especialmente cuando se trata de educación. No obstante, existen definiciones sobre calidad acuñadas por varios Estados de Europa y Latinoamérica al referirse a los sistemas de aseguramiento de la Calidad.

En el presente estudio se analizan distintos conceptos y modelos muchos de ellos aplicados en Chile, los cuales obedecen básicamente a preceptos teóricos que no integran la participación plena de quienes participan de los procesos formativos, lo que se contrapone con lo planteado por otros autores que señalan que el concepto de calidad es una construcción social, que varía según los intereses de los grupos de personas tanto dentro y fuera de las instituciones, haciéndose fundamental conocer de qué manera estas construcciones son adoptadas y compartidas por los distintos actores que participan de estos procesos formativos, permitiendo conocer lo que creen, sienten, valoran, entre otros aspectos, hecho que ayuda a comprender la realidad de la cual ellos son parte esencial.

Palabras Clave: Calidad, concepto polisémico, construcción social, multidimensional

Abstract

Defining quality is not an easy subject to do, especially when it refers to the educational field. Many studies agree that quality is a polysemic concept that lacks a common definition that could be applicable in all fields, especially when it comes to education. However, there are definitions of quality coined by several States in Europe and Latin America when referring to quality assurance systems.

In the present study, different concepts and models are analyzed, many of them applied in Chile, which basically obey theoretical precepts that do not integrate the full participation of those who participate in the training processes, which is in contrast to what has been proposed by other authors who point out that the concept of quality is a social construction, which varies according to the interests of the groups of people both inside and outside the institutions, making it essential to know how these constructions are adopted and shared by the different actors that participate in these training processes, allowing to know what they believe, feel, value, among other aspects, a fact that helps to understand the reality of which they are an essential part.

Keywords: Quality, polysemic concept, social construction, multidimensional.

Definir calidad no es un tema que resulte fácil de hacer, especialmente cuando se refiere al ámbito educativo. Muchos estudios coinciden en que la calidad es un concepto polisémico que carece de una definición común que podría ser aplicable en todos los campos, especialmente cuando se trata de educación (Días, 2006; CINDA, 2008; Royero, 2009 y Silva, Bernal & Hernández, 2014). No obstante a lo anterior, Harvey y Night (1995), lograron construir a lo menos siete definiciones sobre calidad; definiciones acuñadas por varios Estados de Europa y Latinoamérica al referirse a los sistemas de aseguramiento de la Calidad, entre las que destacan;



Calidad entendida como excepcionalidad, cuya definición establece una meta para las universidades y académicos a ser siempre lo mejor; pertenecen a la elite y lograr mejores resultados que otros; se encuentra muy vinculada a la reputación; como control científico que desecha los productos defectuosos. Cuando la calidad se define desde esta perspectiva, se hace difícil evaluarla; básicamente se mide control de entrada y de salida.

Calidad entendida como cero errores, define la calidad como resultado impecable, coherente o perfecto. Algunos aspectos de esta definición democratizan el concepto de calidad. La definición anterior, es fácilmente aplicable en la industria, ya que hay normas de aplicación establecidas para definir el producto o el resultado, pero cuando se trata de los graduados universitarios, no resulta tan simple ni evidente y aunque el enfoque es idealista para la educación superior, promueve el desarrollo de ambientes de aprendizaje para mejorar la calidad porque centra su atención en el proceso.

Calidad entendida como cumplimiento de propósito institucional, es la definición frecuentemente utilizada en la educación superior. Según este concepto, se tiene que decidir en qué medida el servicio o producto cumple los objetivos establecidos. Este enfoque se centra en la detección de las necesidades de los candidatos a la educación superior. Esta definición tiene presente las diferencias que existen entre las instituciones en vez de homogeneizarlas o bien estandarizarlas. En este contexto, la calidad se mide en la medida que se han alcanzado los objetivos establecidos. De acuerdo a lo expuesto, el producto o servicio debe satisfacer las necesidades y deseos de los consumidores. Al mismo tiempo, el cliente tiene que expresar sus necesidades y deseos de manera explícita. En otras palabras, la calidad, está vinculada a la eficacia y la eficiencia de la enseñanza.

Calidad entendida como transformación, el principal cliente de la educación, es el estudiante cuya comprensión, actitudes y objetivos, cambian y evolucionan en el proceso de formación. Cuanto mejor sean los resultados de formación, puede gestionar en el futuro la vida laboral a partir del conocimiento, experiencia y competencias adquiridas en la universidad. De esta manera, se puede decir que la institución ha cumplido su cometido.

Calidad como cota mínima, cuya premisa principal es la existencia de estándares y normas establecidas por la autoridad correspondiente. Esta concepción, pone en el centro los procesos de acreditación que subyace a los sistemas de aseguramiento de la calidad de la educación superior en la Unión Europea y en casi todos los países del mundo (Silva & otros, 2014), lo que ciertamente resulta útil para la formulación de políticas públicas en el ámbito de la Educación.

Calidad entendida como justiprecio (valor contra costo), se apoya en conceptos tales como eficacia, eficiencia y efectividad, por ende, bajo esta premisa, el retorno de la inversión en la formación profesional, debe generar un retorno rápido de la inversión realizada en ello. Esta concepción, es la más utilizada por los distintos gobiernos de distintos países.

Calidad entendida como mejoramiento continuo que, en estricto rigor, no constituye un concepto de calidad, sino más bien un referente que hace que la formación se transforme en un continuum de acciones tendientes al logro de la calidad plena (Silva, & otros, 2014)

En tanto para la UNESCO (2010), la calidad de la educación superior es un concepto multidimensional que debería comprender todas sus funciones, actividades, enseñanza, académicos, investigación, becas, dotación de personal, alumnos, infraestructura y entorno académico, definición que se adscribe más bien a un concepto basado en la cota mínima, de acuerdo a la categorización que hace Harvey y Knight (1995), lo que parece estar en perfecta sintonía con los criterios utilizados en los procesos de acreditación institucional y/o de programas.



Si se analiza lo anteriormente expuesto, se puede señalar que la calidad en Chile, responde a la yuxtaposición de los conceptos antes descritos y no obedece a una conceptualización única. De acuerdo con la concepción acuñada por CINDA (2008), el mejoramiento de la calidad de la educación superior deja de ser un proceso unilineal evaluado por un conjunto de indicadores estáticos y cuantitativos. Por el contrario, es un proceso omnidireccional cuyos resultados difieren dependiendo de los patrones de referencia. Al respecto, señala que el concepto de calidad en la educación superior no existe como tal, sino como un término de referencia de carácter comparativo en el cual algo puede ser mejor o peor que otro, dentro de un conjunto de elementos homologables, o en comparación con cierto patrón de referencia ya sea real o utópico- previamente determinado. Cabe destacar que se sustenta en una concepción etnográfica y sistémica de la evaluación, orientada a la toma de decisiones para el cambio, y en la triangulación de información que garantice una mayor confiabilidad y compromiso de los actores involucrados, lo que le asigna un valor agregado ya que no siempre se consideran a los actores del proceso.

Por su parte, la OCDE (2008) reconoce que el Estado desempeña un papel fundamental en el fomento de los mejores resultados posibles en la educación superior. Uno de los factores de gestión clave es garantizar una competencia adecuada entre las instituciones de educación superior como incentivo para mejorar los resultados, la eficiencia económica y la calidad en la educación. A pesar de que el uso de mecanismos de mercado en los sistemas de educación superior aporta numerosas ventajas, también se han identificado algunos riesgos. Un mercado de la educación superior regulado inadecuadamente podría hacer que se diera excesiva importancia a la generación de ingresos y a la rentabilidad en lugar de la enseñanza y la investigación (OCDE, 2013).

En Chile, el MINEDUC (2005), usa un concepto funcional de calidad; esto es; ajuste a los propósitos declarados por la institución. Estos propósitos se encuentran en la declaración de misión de cada institución y es posible evaluarla en sus propios términos, en lugar de compararla con características arbitrarias, impuestas o inadecuadas. En la Comisión Nacional de Acreditación (CNA, 2015), si bien no existe consenso en su definición, prevalece la idea del MINEDUC de concebirla como ajuste a los propósitos declarados, en donde se combinan la identidad nacional con la capacidad de responder a las necesidades del contexto. Sin embargo, existen voces disidentes que señalan que la calidad debe ser definida como propiedad intrínseca o inherente a una entidad, pero no como un proceso (CNA, 2015).

A partir de las distintas concepciones sobre calidad, es posible identificar modelos de aseguramientos de calidad en la educación superior.

Modelos de calidad en la educación superior

La expansión de los sistemas de educación superior, la diversificación de la oferta y la mayor heterogeneidad del cuerpo de estudiantes han demostrado la necesidad de abrir el campo y dejar la visión tradicional de la educación superior para visualizar una más amplia, la «terciaria», que debería reflejar la creciente diversidad de instituciones y programas (OCDE, 2008), cambios que han ido generando desconfianzas de los servicios que hoy en día ofrece la educación terciaria. Para tal efecto, la mayoría de los países han ido generando mecanismos de aseguramiento, que garanticen la calidad tanto de las entidades formadoras, como de carreras profesionales (Lemaitre & Zenteno, 2012). Una de las iniciativas importante en la región de Latinoamérica es el sistema de acreditación Arcu-Sur, cuyo propósito era la validación de títulos y grados en la región. Para tal efecto, se crearon comisiones, se integraron expertos en aseguramiento de la calidad, se fijaron procedimientos, entre otras acciones que se emprendieron, logrando mantener el modelo hasta el día de hoy (CINDA, 2012).

La tendencia mundial en términos de aseguramiento de la calidad en la educación superior, se centra en tres aspectos fundamentales; a saber, control, garantía y mejoramiento, los que ciertamente no son



excluyentes, sino que se consideran aspectos y procedimientos de unos y otros (Lemaitre & Zenteno, 2012).

Respecto a los mecanismos de control, destaca el de licenciamiento, el que comprende la aprobación del proyecto institucional y el proceso que permite evaluar el avance y concreción del proyecto educativo de la nueva entidad, a través de variables significativas de su desarrollo, tales como docentes, didácticas, técnico-pedagógicas, programas de estudios, de infraestructura, así como los recursos económicos y financieros necesarios para otorgar los grados académicos y los títulos de que se trate (CNA, 2014). De acuerdo a la garantía pública, el propósito fundamental es proporcionar a los distintos actores información confiable acerca del grado en que una institución de educación superior cumple con los compromisos adquiridos, lo cual incluye información acerca del grado en que los egresados satisfacen las expectativas de su grupo de referencia profesional o disciplinario, especialmente dada la multiplicidad y heterogeneidad de entidades formadoras y carreras ofertadas. Los sistemas de acreditación entonces, evalúan no solo a la institución en función de sus propios propósitos si no que, en la misma línea, a los programas que ofrecen y de un conjunto de estándares definidos para luego, dar garantía pública acerca del grado en que satisfacen tanto sus propósitos como los estándares o criterios definidos. En tanto, los mecanismos de mejoramiento, dice relación directa con la auditoria académica, centrándose en la capacidad que tienen las instituciones para generar y aplicar procedimientos de autorregulación en la consecución de una cultura de la calidad (CINDA, 2012).

En el caso de Chile, existen, a lo menos tres entidades que velan por la calidad de la FID, por un lado se cuenta con el Consejo Nacional de Educación (CNE), quién es el encargado de otorgar licenciamiento a las instituciones de educación superior y resolver las apelaciones de decisiones de acreditación; la Comisión Nacional de Acreditación (CNA), organismo público de carácter autónomo encargado de verificar y promover la calidad de las universidades, institutos profesionales y centros de formación técnica autónomos y de las carreras y programas de estudios que ellos ofrecen y el Centro de Perfeccionamiento, Experimentación e Investigación Pedagógica (CPEIP), dependiente del Ministerio de Educación, quién tiene a cargo no solo la formulación de los estándares de calidad de las carreras de Pedagogía, sino también, la administración de la prueba INICIA sin embargo, existe un marco común que se orienta en tres direcciones, rendición de cuenta pública, mediante el proceso de licenciamiento; auditoria académica mediante los procesos de acreditación institucional y de carreras y de mejoramiento continuo a partir de los mecanismos generados desde las instituciones para velar por la calidad de los procesos formativos.

En el marco del nuevo escenario político y social, el gobierno de Chile ha propuesto nuevas bases para una reforma al sistema nacional de educación superior y con ello, al componente aseguramiento de la calidad (MINEDUC, 2015). Si bien se valoran las iniciativas emprendidas, también se asumen los aspectos negativos que ha tenido la política de aseguramiento de la calidad. La nueva propuesta del gobierno, contempla la obligatoriedad de la acreditación institucional y de carreras. Inicialmente, la acreditación de programas formativos era obligatoria para las carreras de educación y medicina solamente. Otro aspecto que se propone, es contar con un umbral, o condición mínima de operación obligatoria, lo que sería monitoreado a lo menos una vez al año, lo que recaerá en la CNA o bien en las agencias de calidad; otro aspecto es la acreditación integrada, la que consiste en evaluar todo el quehacer institucional, mediante dimensiones que involucren docencia, investigación y vinculación con el medio en el caso de las universidades. Institucionalidad es otro aspecto a considerar, la que consiste en cambiar la constitución corporativa de la CNA, se propone que sus integrantes sean académicos destacados de la educación superior, con dedicación exclusiva a la entidad reguladora (MINEDUC & CNA, 2015). De acuerdo al planteamiento anterior, no se visualizan cambios profundos a los mecanismos de aseguramiento de la calidad.



Para el Modelo de Calidad Total; la calidad significa que el producto o el servicio otorgado deben satisfacer las expectativas del usuario; y lo de Total, se atribuye a que la calidad es lograda con la participación de todos los miembros de la organización. Este modelo, intenta, por un lado, resolver el tema de la gestión académica y, por otra, crear una nueva cultura de sus miembros al interior de la organización educativa; sin embargo, este modelo ha recibido fuertes críticas de parte de los académicos, por un lado, por su marcada orientación al mundo de los negocios y por otro, por considerar a los estudiantes como clientes (González & Espinoza, 2008).

Otro modelo de aseguramiento de la calidad lo ha promovido, la Fundación Europea para la Gestión de Calidad (EFQM), quién sitúa la autoevaluación en el centro del proceso. Es un modelo que se fundamenta no sólo en ideas sino muy especialmente en resultados y por lo mismo, existen diferenciaciones entre los distintos países que conforman la Unión Europea (CINDA, 2008).

Al respecto, Royero (2009) señala que, en el modelo europeo continental, la función de mejora y calidad no sólo da garantías al público objetivo que atiende, sino que también al gobierno. El marco para la evaluación son básicamente las expectativas de los gremios y su foco es, ante todo, el programa académico, más que los servicios administrativos y las estructuras. El principal procedimiento utilizado es el equipo externo de evaluación por pares. El modelo británico en cambio, pone énfasis en el mantenimiento de los estándares de los títulos académicos y establecimiento de criterios de calidad. Los procedimientos básicos son los de la evaluación por pares y el uso de indicadores de desempeño.

El modelo escandinavo, representa una variante del modelo europeo continental cuyo propósito se centra en dar garantía pública y algunos, en la mejora del sistema. El marco de evaluación se concentra en estándares; los procesos de autoevaluación institucional se evidencian con una marcada actividad de rendición de cuentas y una intención de evaluación externa.

Como se puede apreciar, la mayor parte de los países cuentan con mecanismos de regulación de la formación docente o de certificación de sus egresados. Un importante número de países europeos, con una fuerte presencia del Estado en la educación superior, han implementado mecanismos de regulación del acceso a la formación docente y exigencias a las entidades formadoras. Aún más, algunos países emplean también exámenes para certificar a quienes se desempeñarán como docentes tal es el caso de Francia, Inglaterra y España (Royero, 2009).

Estados Unidos, con su mayor diversidad en la formación profesional y la existencia de variedad de enfoques entre Estados, ha optado preferentemente por la certificación, mediante exámenes de egreso.

Conclusión

A modo de conclusión, todos los conceptos y modelos analizados, obedecen básicamente a modelos teóricos que no integran la participación plena de quienes participan de los procesos formativos, si bien en la evaluación de la calidad se recogen opiniones de estudiantes y académicos, en función de los programas en cuestión, no se analizan las representaciones que estos tienen respecto de la calidad de su formación universitaria. Al respecto, Días Sobrinho (2006) plantea que el concepto de calidad es una construcción social, que varía según los intereses de los grupos de personas tanto dentro y fuera de las instituciones; lo que pone en relieve a los actores del proceso formativo. Señala que los académicos tienden a asignar importancia y valor a los aspectos académicos. Los empleadores en tanto, a las competencias con que los estudiantes egresan y que les permitirá integrarse al trabajo y los estudiantes, en tanto, le asignan valor a la empleabilidad. Al respecto, se hace fundamental conocer de qué manera estas construcciones son adoptadas y compartidas por los distintos actores que participan de estos procesos formativos.



Desde esta perspectiva, se entiende que las construcciones que hacen las personas respecto a los procesos formativos en los que participan, resultan fundamentales, dado que tienden a construir cultura al interior de los centros universitarios y su análisis contribuyen a la toma de decisiones respecto a las políticas educativas que se deben promover en la consecución de la calidad de formación inicial docente, por lo que parece fundamental los aportes que hace el estudio de las representaciones sociales de los actores que permitan conocer lo que creen, sienten, valoran, entre otros aspectos, y que ayudan a comprender la realidad de la cual ellos son parte fundamental.

Referencias Bibliográficas

Centro Interuniversitario de Desarrollo (CINDA). (2008). La Educación Superior en Chile. Recuperado en http://aula.virtual.ucv.cl/aula_virtual/cinda/cdlibros/39-Dise%C3%B1o%20Curricular%20Basado%20en%20Competencias%20y%20Aseguramiento%20de%20la%20Calidad%20en%20la%20Educaci%C3%B3n%20Superior/Dise%C3%B1o%20Curricular%20Basado%20en%20Competencias%20y%20Aseguramiento%20de%20la%20Calidad.pdf.

Centro Interuniversitario de Desarrollo (CINDA). (2012). Informe: Aseguramiento de la calidad en Iberoamérica. Recuperado en <http://www.cinda.cl/documentos-y-publicaciones/libros/>

Comité de Coordinación del Sistema Nacional de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior Chilena (2012). Informe Nacional de Antecedentes sobre el Aseguramiento de la calidad en la educación Superior. Santiago de Chile.

Dias Sobrinho, J. (2006). Acreditación de la Educación Superior en América Latina y el Caribe. Madrid / Barcelona: Global University Network for Innovation (GUNI / UNESCO, Ediciones Mundi-Prensa.

González, L & Espinoza, O (2008). La Calidad de la Educación Superior; Conceptos y Modelos. Consejo Superior de Educación ISSN 0717-4001. Revista N° 28.

Harvey, L & Night, P. (1995). Transforming Higher Education. Londres. General Editor: Heather Eggins. Lemaitre, M.J & Zenteno, M.E. (2012). Aseguramiento de la calidad en Iberoamérica: Educación Superior. Centro Interuniversitario de Desarrollo (CINDA). Santiago. Chile. RIL® editores.

Ministerio de Educación. República de Chile (2015). La calidad en la Educación Superior. Recuperado en www.Mineduc.cl

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, OCDE. (2008). Panorama de la educación. Compendio anual de estadísticas comparables internacionalmente en el campo de la educación. Recuperado en <http://www.oecd.org/edu/skills-beyond-school/41262207.pdf>.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, OCDE. (2013). El Aseguramiento de la Calidad en la Educación Superior en Chile 2013. Recuperado en: <http://portales.mineduc.cl/usuarios/1234/doc/201310151024490.2012%20OCDEAseguramiento%20Calidad.pdf>.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, UNESCO, (2012). Informe Regional sobre la Educación para Todos en América Latina y el Caribe. Recuperado en www.unesco.cl.



Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, UNESCO, (2014). Enseñanza y Aprendizaje; Lograr la calidad para todos. Recuperado en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002261/226159s.pdf>

Silva, Bernal & Hernández, (2014). Modelo de Aseguramiento Interno de la Calidad para las Instituciones de educación superior en el marco del mejoramiento continuo de la calidad de la educación superior en Colombia. Bogotá. Recuperado en: http://www.cna.gov.co/1741/articles-186502_Modelo_aseguramiento.pdf



Importancia del análisis financiero para la toma de decisiones

T2 AB Cristobal Stierling Tapia

cristobal.stierling@gmail.com

Resumen

Las organizaciones, en su proceso de toma de decisiones, necesitan de la mayor cantidad de información útil para poder tener una visión con conocimiento de su situación y de su entorno. Una de las áreas más importantes y que podría determinar el porvenir de la organización es el área financiera; su análisis le permitirá a la organización poder determinar su situación financiera y poder tomar las decisiones que la dirijan a obtener un mayor beneficio.

Palabras Clave: Análisis Financiero, Toma de Decisiones, Estados Financieros

Abstract

Organizations, in their making-decision process, need the greatest amount of useful information to have a knowledgeable vision of their situation and their environment. One of the most important areas and one that could determine the future of the organization is the financial one; its analysis will allow the organization to be able to determine its financial situation and to be able to make the decisions that direct it to obtain a greater benefit.

Keywords: Financial Analysis, Decisión Making, Financial Statements

Introducción

Los Estados Financieros son informes en los cuales se refleja estructuralmente la información financiera de una organización en un periodo de tiempo. Su análisis nos permite obtener información de utilidad para el proceso de toma de decisiones en relación con el porvenir de la organización.

En la Armada de Chile existen ciertas Reparticiones que, de acuerdo a lo estipulado por la Contraloría General de la República, anualmente deben presentar su situación financiera a través de Estados Financieros. Estas, a diferencia del estándar institucional, deben generar sus propios recursos para poder operar. Es por esto que es importante entender el proceso de análisis de los estados financieros y cómo estos aportan información de utilidad para el proceso de toma de decisiones. Para esto se explicarán algunos de los métodos de análisis más comunes y se reflexionará sobre la importancia del análisis financiero para las organizaciones.

Desarrollo

“...en la estructura de los estados financieros se registran las operaciones o transacciones diarias que demuestra una empresa en sus actividades, siendo resumidas en la estructura exhibida como estado financiero”. (Elizalde, L., 2019)

Los Estados Financieros recogen, de distintas maneras, la información financiera de una organización, la cual es extraída de la contabilidad de esta. Existen cuatro grandes estados financieros: Balance General, Estado de Resultados, Estado de Flujo Efectivo y Estado de Cambios en el Patrimonio Neto. Para la administración de una organización es muy relevante conocerlos y analizar la información que estos entregan.



“Los estados financieros constituyen una representación estructurada de la situación financiera y del rendimiento financiero de una entidad. El objetivo de los estados financieros es proporcionar información de una determinada entidad, acerca de su posición financiera, su desempeño, de los cambios en la posición financiera y acerca de su gestión”.(Contraloría General de la República, 2015)

El Balance General proporciona información sobre los activos, pasivos y el patrimonio de una organización. Este permite obtener la situación financiera indicando lo que debe, posee y lo que ha invertido la organización.

El Estado de Resultado informa respecto a los ingresos que una organización obtuvo durante un periodo determinado, indicando los costos y gastos asociados para ese nivel de ingreso. Finalmente, este informe presenta las ganancias o pérdidas que la organización tuvo durante ese periodo.

El Estado de Flujo de Efectivo otorga información sobre las entradas y salidas de efectivo que tuvo la organización durante un periodo determinado. Esta información es relevante para determinar el nivel de efectivo o liquidez que tiene para afrontar nuevos gastos, comprar activos o desarrollar proyectos de inversión.

El Estado de Cambios en el Patrimonio Neto se centra en las variaciones relacionadas al patrimonio de la organización. Incluyendo, el resultado del ejercicio, como aquellas variaciones que no forman parte del Estado de Resultado, como lo son los ajustes por cambios en las políticas contables y ajustes por corrección de errores.

Toda la información que entrega la contabilidad y que es representada en los Estados Financieros mencionados, no otorga utilidad a la dirección de la organización si no es analizada. Para realizar el análisis de esta información existen diversas herramientas financieras, las que permiten interpretar de mejor manera los datos extraídos de los Estados.

A lo largo de los años y en base a la necesidad de obtener información de los Estados Financieros, se han desarrollado diversos métodos de análisis dentro los cuales se destacan el análisis horizontal, vertical y de ratios.

El primer método es el análisis vertical, el cual evalúa porcentualmente la distribución financiera de la organización. Su concepto se basa en calcular el porcentaje de participación por cuenta sobre el valor total de cada agrupación de cuentas durante un periodo de tiempo determinado. Este permite determinar de qué forma están distribuidos los activos y pasivos de la organización y, dependiendo de las necesidades de esta, identificar si esa distribución es la más idónea de acuerdo con los objetivos financieros que la organización tenga estipulados. A modo de ejemplo, si una organización tiene un activo corriente igual a \$1.000 y mercaderías igual a \$750, podemos decir que las mercaderías representan el 75% del activo corriente, lo cual se puede interpretar que la organización esta con altos niveles de stock de mercaderías.

El análisis horizontal por otra parte, busca determinar la variación porcentual de una cuenta de los estados financieros de un periodo a otro, pudiendo utilizar un año base. Permite identificar los cambios estructurales producidos en dos o más ejercicios consecutivos, orientando la búsqueda de la estructura idónea que permita una mayor rentabilidad y economía en la operación. Por ejemplo, si una organización al año 2022 tiene ingresos por venta iguales a 1.000 y en el año 2021 tuvo ingresos por venta iguales a 800, podemos interpretar que los ingresos por venta tuvieron un aumento del 25%.

El análisis vertical se considera estático, porque utiliza datos de un solo ejercicio económico, mientras que el horizontal se considera dinámico ya que utiliza datos de un periodo a otro.



“Actualmente, en la mayoría de las empresas los indicadores financieros se utilizan como herramienta indispensable para determinar su condición financiera; ya que a través de su cálculo e interpretación se logra ajustar el desempeño operativo de la organización permitiendo identificar aquellas áreas de mayor rendimiento y aquellas que requieren ser mejoradas”. (Rosillón & Alejandra, 2009)

Por último, se encuentra el análisis de ratios, los que representan la relación cuantitativa entre dos cuentas o agrupaciones de cuentas. Son utilizados para evaluar la situación financiera de una organización en contraste a la misma en años anteriores, frente a promedios de la industria u otras organizaciones o de acuerdo a proyecciones establecidas por la dirección. Dentro de estos ratios se encuentran los de liquidez, que miden la capacidad de una empresa para pagar sus deudas a corto plazo; también se encuentran los ratios de solvencia, que entregan información sobre el endeudamiento de la organización y establecen si ésta se encuentra en condiciones de pagar sus compromisos; los ratios de rentabilidad, que representan el grado de rentabilidad que la organización está obteniendo de sus activos y capital; los ratios de eficiencia, que evalúan la eficiencia de la organización para administrar sus inventarios; entre otros. A modo de ejemplo se calculó el ratio de liquidez de una organización, la cual tiene un activo corriente igual a \$770.000 y un pasivo corriente de \$900.000; para calcular el ratio dividimos el activo corriente por el pasivo corriente, obteniendo como resultado 0.85, lo que significa que la organización solo puede pagar el 85% de sus compromisos a corto plazo.

“Las diferentes técnicas y métodos de análisis financiero pueden ser aplicados, según las normativas vigentes, a las condiciones económicas de las empresas permitiendo la toma decisiones económicas-financieras oportunas y adecuadas en el corto, mediano y largo plazo”. (Alarcón et al., 2022)

Es necesario hacer presente que, ninguno de estos métodos y ratios mencionados pueden otorgar información suficiente para un análisis financiero por sí solos. Es en su conjunto que estas herramientas entregan información de calidad que, luego de su interpretación, puede ser utilizada en el proceso de toma de decisiones de la organización.

Importancia del análisis financiero

Luego de haber descrito los métodos más conocidos y prácticos para efectuar un análisis financiero, es necesario resaltar la importancia de la información que estos nos proveen y de cómo estos pueden determinar el porvenir de la organización.

“La importancia del análisis financiero es la aplicación de estrategias que permitan visualizar el nivel de liquidez solvencia, endeudamiento y rentabilidad en la actividad empresarial, evaluando el rendimiento de un negocio. Esta herramienta facilita la toma de decisiones en un plan de acción que permita identificar los puntos fuertes y débiles de una institución empresarial comparada con otros negocios.”. (Párraga et al., 2021)

El análisis financiero para una organización es fundamental para poder establecer su situación financiera actual contrastada con años anteriores, otras empresas, desempeños promedios del mercado en el cual se desempeña o con proyecciones realizadas por la misma organización. Este análisis le otorgará información de utilidad para el proceso de toma de decisiones, pudiendo establecer cuáles son las unidades de negocios más débiles, el nivel de endeudamiento de la organización, la rentabilidad de sus procesos productivos, capacidad de liquidez para afrontar sus deudas a corto y largo plazo, crecimiento económico con relación a años anteriores, entre otras muchas utilidades. Con la información obtenida de los Estados Financieros la organización puede tomar las decisiones necesarias para poder mejorar su situación financiera, y de esta forma poder conseguir algunos de los objetivos trascendentales a toda organización: seguir operando a lo largo de los años con la capacidad de atender a todos los



compromisos adquiridos, generar los beneficios para financiar adecuadamente las inversiones necesarias y aumentar las ventas, cuotas de mercado, beneficio y valor de la esta.

Existen ciertos factores que son requisitos mínimos para que el análisis pueda entregar información útil a la organización, dentro de los cuales se encuentran que los datos analizados sean: relevantes al tipo de organización, actuales, veraces y comprobables.

“El análisis financiero constituye una herramienta fundamental para que en una organización se logre una gestión financiera eficiente. Realizarlo es de vital importancia para el desempeño financiero de la empresa; pues, se trata de una fase gerencial analítica basada en información cualitativa y cuantitativa”. (Rosillón & Alejandra, 2009)

Conclusión

Los Estados Financieros reúnen toda la información financiera de la organización, pero, para poder darle utilidad a esta, es necesario analizarla. Esto se logra con la aplicación de métodos que permiten interpretar de mejor manera las implicancias de los resultados en los Estados. Esta información es fundamental en el proceso de toma de decisiones de una organización, entregando a la dirección los conocimientos necesarios para realizar una adecuada planificación de sus objetivos estratégicos.

Es por esto que, en todas las Reparticiones de la Armada en donde se administren recursos como unidades de negocio, se deben ejecutar análisis financieros periódicos a los Estados Financieros, con el objeto de que las direcciones tengan información de calidad y puedan maximizar los beneficios financieros de su organización y velar por una adecuada administración de los recursos fiscales.

Bibliografía

- Elizalde, L. (2019). Los estados financieros y las políticas contables. Quito, Ecuador.
- Contraloría General de la República. (2015). Normativa del sistema de contabilidad general de la nación (Resolución N° 16). Santiago, Chile.
- Rosillón, N. & Alejandra, M. (2009). Análisis financiero: Una herramienta clave para una gestión financiera eficiente. Revista Venezolana de Gerencia.
- Alarcón, A., Miranda, S., Elton, R. & Ulloa, E. (2022). El proceso de análisis financiero: Métodos y técnicas para la toma de decisiones. revistas.unica.cu.
- Párraga, S., Pinargote, N., García, C. & Zamora, J. (2021). Indicadores de gestión financiera en pequeñas y medianas empresas en Iberoamérica: una revisión sistemática. Dilemas contemporáneos.



Estudio de la factibilidad técnica para la utilización de Hidrógeno Verde como fuente energética en el Campus Hyatt de la Academia Politécnica Naval

T2° Sra. María José Ulloa González

mulloag@armada.cl

Resumen

El estudio de factibilidad técnica de la utilización de hidrógeno verde en el Campus Hyatt, como fuente energética, contempla un análisis de toda la cadena de valor del hidrógeno: insumos, producción, almacenamiento y uso final. Para los insumos, se desarrolló un análisis del sistema fotovoltaico, dimensionándolo para abarcar la peor situación de radiación solar a nivel anual. La determinación del hidrógeno requerido, se proyectó a partir de la demanda de energía de los combustibles fósiles que son utilizados. La forma de almacenamiento se determinó considerando las opciones más seguras y, las consideraciones para el uso final de este hidrógeno, se determinaron en base a las condiciones actuales de las redes de gas natural, al cual será inyectado, y de las calderas que alimentará. La propuesta está en línea con los compromisos adquiridos por el país para una reducción de la emisión de gases de efecto invernadero, y particularmente con la reducción de la emisión de dióxido de carbono, la cual fue calculada como parte del estudio.

Palabras clave: Hidrógeno verde, dióxido de carbono, fuente energética, sistemas fotovoltaicos.

Abstract

The technical feasibility study for the use of green hydrogen on the Hyatt Campus as an energy source contemplates an analysis of the entire hydrogen value chain, including inputs, production, storage, and final use. For inputs, an analysis of the photovoltaic system will be developed, sizing it to cover the worst-case solar radiation situation on an annual basis. The required amount of hydrogen will be determined based on the energy demand of the fossil fuels currently in use. The form of storage will be chosen based on the safest options available, and the considerations for the final use of this hydrogen will be determined based on the current conditions of the natural gas networks to which it will be injected and the boilers that it will feed. The proposal is in line with the commitments made by the country to reduce greenhouse gas emissions, particularly carbon dioxide emissions, which were calculated as part of the study.

Keywords: Green hydrogen, carbon dioxide, energy source, photovoltaic systems.

Cambio climático

El cambio climático es uno de los desafíos más importantes que ha tenido que enfrentar la humanidad. Es por esto, que la Armada de Chile se adhiere a las acciones que sean necesarias para proteger el medioambiente, prevenir, reducir y controlar la contaminación aplicando el principio de gradualismo y mejoramiento continuo.



Chile busca diversificar la matriz energética y aprovechar los recursos naturales, como la energía solar y eólica, con la finalidad de evitar el uso de combustibles fósiles. Lo anterior, le ha permitido mantenerse como un país activo e importante en materia de energías renovables, posicionándose como un país líder para generar hidrógeno verde más económico.

Nuestro país ha adoptado una “Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde”, como parte del esfuerzo de descarbonizar la economía y transformar al país en un exportador neto de energía limpia. Esta estrategia identifica una oportunidad que se abre para Chile de almacenar y utilizar el enorme potencial de energías renovables intermitentes y emplearlo para sustituir el uso de combustibles fósiles en sectores productivos en que es difícil descarbonizar solo a través de la electrificación (Agosin and Bitran 2022).

Asimismo, el Plan de Carbono Neutralidad en el Sector Energético de Chile prevé que el hidrógeno será el responsable de una reducción del 21% de las emisiones del sector energético de aquí al 2050. Debido a la urgencia para lograr la descarbonización total de la matriz energética y alcanzar los objetivos del Acuerdo de París para el 2050.

Academia Politécnica Naval

La Academia Politécnica Naval (APN) es una escuela formadora de Oficiales y Gente de Mar como especialistas para la Armada de Chile. Físicamente, está compuesto por el Campus Charles y Hyatt.

Este estudio se enfoca al campus Hyatt, el cual alberga 912 personas, correspondiente a un 88% de alumnos, de las Escuelas de Ingeniería, Armamento, Operaciones, Buceo, Inteligencia y Sanidad Naval.

En la matriz energética primaria del Campus Hyatt, la energía solar representa un 85% y el gas natural un 15% de los energéticos totales. Las fuentes de energía secundaria con las que cuenta son: Electricidad, Gas Licuado de Petróleo (GLP) y Petróleo Diesel.

La distribución según consumo energético de electricidad y combustibles, se puede observar la tabla 1.

Tabla 1 Distribución de energéticos en combustibles [Tcal] en el Campus Hyatt 2019-2021. (Fuente: Elaboración propia usando los datos de la bitácora de consumos).

Fuente Energética [Tcal]	2019	2020	2021
Electricidad	0,74	0,69	0,72
GLP	0,56	0,62	0,54
Petróleo Diésel	0,48	0,46	0,33
Gas natural	0,05	0,04	0,05
Total	1,83	1,81	1,64

De acuerdo a esta información, la electricidad presenta el mayor consumo, sin embargo, la suma de los combustibles fósiles, es mayor el gasto energético en electricidad.



El Campus Hyatt posee 17 calderas, las cuales calientan agua por medio de la quema de un combustible. Esta agua se almacena en un depósito donde queda disponible para proporcionar agua caliente sanitaria y/o alimentar un circuito de calefacción por radiación.

Los combustibles que se utilizan para la alimentación de las calderas son: el petróleo diésel, GLP y gas natural.

Todas las calderas que posee el Campus Hyatt, tienen la opción de utilizar como combustible el gas natural, GLP, petróleo o gas de ciudad, solamente se debe cambiar el quemador, el cual se encarga de realizar la mezcla exacta entre el combustible y aire.

Hidrógeno verde como sustituto de combustibles fósiles

El hidrógeno (H₂) es el elemento más liviano conocido. En condiciones ambientales normales, es un gas inodoro, incoloro, insípido, no tóxico y altamente inflamable.

El H₂ es el combustible con mayor densidad energética por unidad de masa, con un valor de 33,3 kWh/kg, al quemarse solo libera vapor de agua y presenta un elevado contenido energético por unidad de peso si se compara con otros combustibles (ver tabla 3).

Tabla 3 Propiedades físicas y químicas del hidrógeno y gas natural. (Fuente: GIZ).

Propiedad	Hidrógen	Gas	Butan	Propan	Unidad
Densidad	0,0899	0,656	2,522	1,767	[kg/m ³]
Poder calorífico superior	33.916	13.100	11.860	12.000	[Kcal/kg]
Índice de Wobbe	40-48	47-52	85-92	74-81	[MJ/
Rango de flamabilidad	abr-75	4,4-17	1,8-8,5	2,2-9,5	[%vol]
Velocidad de combustión	3,1	0,4	0,52	0,45	[m/s]
Temperatura de autoignición	536-585	600	280	493	[°C]
Temperatura de llama	2.254	1.960	1.900	1.980	[°C]

El hidrógeno se puede extraer por diversos métodos que se muestran en la figura 1.

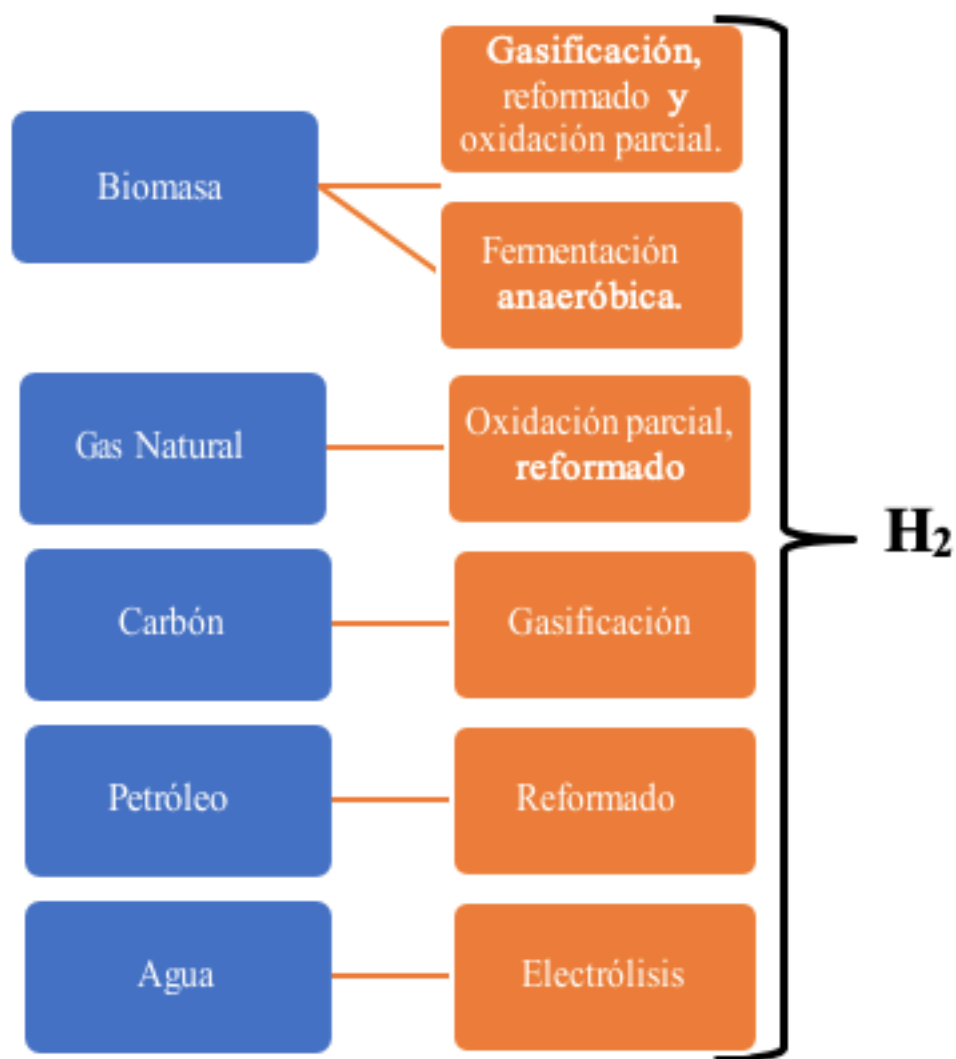


Figura 1 Principales métodos de producción de Hidrógeno.

(Fuente: Elaboración Propia).

El hidrógeno verde es aquel que se obtiene sin generar gases de efectos invernadero, utilizando por ejemplo energías renovables como la solar o la eólica.

Los procesos más importantes para la obtención de H₂ se encuentran en la tabla 4.



Tabla 4 Principales procesos de obtención de hidrógeno.

(Fuente: Vásquez & Salinas, 2018).

Proceso	Ventajas	Desventajas
Reformado con vapor	• Elevada eficiencia. • Desarrollado a gran escala. • Hidrógeno a bajo costo.	• Emisiones de CO₂. • Gran infraestructura. • Unidades a pequeña escala no comerciales.
Oxidación parcial	• Tecnología utilizada muy avanzada.	• Emisiones de CO₂. • Gran infraestructura. • Elevados costos de inversión.
Gasificación	• Tecnología desarrollada. • Abundancia y bajo costo de materia prima.	• Grandes emisiones de CO₂. • Gran infraestructura. • Eficacia baja.
Electrólisis del agua	• Nulas emisiones de CO₂. • Tecnología conocida. • Hidrógeno de gran pureza.	• Elevados costos energéticos.

La comparación posiciona la electrólisis del agua como la alternativa más favorable en el contexto de la actual crisis climática.

La propuesta contempla inyectar un porcentaje de volumen de H₂ en las redes de gas natural, para evitar el predominio de los combustibles fósiles que se utilizan en las calderas, principalmente el petróleo diésel y GLP, que son los que tienen un alto valor de factor de emisión de CO₂, con el fin de reducir sus emisiones.

Según el estudio de inyección de H₂ a la red de gas natural del Ministerio de Energía, para el sector residencial como máximo es posible inyectar un poco más de un 20% de H₂, haciendo pequeñas modificaciones a los equipos y para mayores porcentajes de inyección aún se requieren estudios. No obstante, una excepción a ello son las estufas que eventualmente podrían aceptar más de 30%. Para el caso comercial e industrial el porcentaje de inyección aceptado, pero con cambios mayores a los equipos, es mayor que el caso de equipos de uso residencial; sin embargo, en términos globales para poder utilizar una gran proporción de hidrógeno, mayor al 50 [%vol] de H₂, cualquiera sea la aplicación de uso final se necesitan estudios específicos (R. S. Vásquez 2021).

En este estudio se consideró una aplicación en el sector residencial para el H₂, de acuerdo a un aumento gradual que se observa en la tabla 5.



Tabla 5 Aumento gradual de la inyección de hidrógeno verde en la red de gas natural. (Fuente: Elaboración propia).

Año	Inyección de H ₂ [%vol]
2025	5 %
2030	10 %
2050	20 %

El estudio tomó como referencia la demanda de hidrógeno proyectada para el 2025 y se considera para el abastecimiento energético una opción on-grid, es decir, la energía es obtenida desde la conexión a la red.

Análisis Técnico

Con el propósito de identificar las condiciones favorables de la propuesta de hidrógeno verde, como combustible en la red de distribución de gas natural del Campus Hyatt y las limitaciones que pueda presentar esta propuesta, se realizó un estudio que abarca toda la cadena de valor del H₂, enfocándose principalmente en los insumos y producción, ya que se apuesta por la generación de una planta de hidrógeno verde mediante la electrólisis del agua utilizando un sistema fotovoltaico. El almacenamiento y distribución en la red de gas natural no son estudiados en profundidad, debido a que se requiere mayor información con respecto a la compresión, niveles de presión, infraestructura adecuada y otros parámetros técnicos para su análisis. Finalmente, se mencionarán las consideraciones para el uso final de la mezcla de H₂ y gas natural, enfocado en las propiedades de combustión en las calderas, debido a que la adición del hidrógeno altera la estructura de la llama y los efectos cinéticos.

Estimación de la demanda de hidrógeno

La determinación de la demanda de energía de los combustibles diésel, GLP y gas natural correspondiente a todas las calderas del Campus Hyatt, se desarrollo bajo un supuesto de aumento lineal desde 2025 a 2050. En la tabla 6 se observa la demanda proyectada.

Tabla 6 Proyección de la demanda energética del uso de combustibles en el Campus Hyatt. (Fuente: Elaboración propia).

Año	Demanda [TJ]
2025	5,32
2030	5,84
2050	7,94



La estimación de la demanda de H₂ consideró que su uso final será en las calderas del Campus Hyatt que serán reacondicionadas para que puedan operar usando la tecnología de la mezcla de hidrógeno y gas natural. De acuerdo con lo anterior, se consideraron 14 calderas conectadas a la red de distribución del gas natural que el Campus Hyatt.

Para realizar la proyección de la demanda de energía, se consideró la siguiente ecuación (1).

$$\text{m3 de consumo total} = \frac{[\text{demanda energética anual}]}{[\text{poder calorífico superior del gas natural}]} \quad (1)$$

La proyección de la demanda energética de las calderas consideradas en el estudio se encuentran en la tabla 7:

Tabla 7 Proyección de consumo total [m³] de gas natural.

(Fuente: Elaboración propia)

Dato	2025	2030	2050
Consumo total [m ³]	136.722	150.111	203.926

La demanda energética atribuida al H₂ depende del porcentaje de inyección que se realice, en este caso, 5, 10 y 20 [%vol] al consumo total energético, según se muestra en la ecuación (2). En este punto, cabe mencionar las principales ventajas de la inyección de hidrógeno a la red de gas natural:

$$\text{m3 requeridos de H}_2 = [\% \text{ vol}] \text{ de H}_2 * \text{m3 de consumo total} \quad (2)$$

El cálculo de la demanda energética de H₂ supone que el porcentaje de volumen de la mezcla será igual a la proyección de energía realizada de los consumos del diésel, GLP o gas natural que se utiliza en las calderas. Sin embargo, el reemplazo de estos combustibles se hará de manera progresiva a lo largo del tiempo, conforme avance la tecnología existente.

El potencial de demanda en kilogramos de H₂, considera la densidad del hidrógeno en condición normal es 0,089 [kg/m³] y se calcula mediante la siguiente ecuación (3):

$$\text{kg requeridos de H}_2 = \text{densidad del H}_2 * \text{volumen de H}_2 \quad (3)$$



La determinación de los kilogramos de H₂ es importante para determinar la capacidad del electrolizador. En la tabla 8 se observa la estimación de la demanda energética y la producción necesaria por periodo de tiempo.

Tabla 8 Estimación de la demanda energética y producción de H₂ (Fuente: Elaboración propia).

Año	Participación de H ₂ [%vol]	Volumen [m ³]	Energía [TJ/año]	Producción de H ₂ [kg/año]
2025	5 %	6.833	0,073	608
2030	10 %	15.011	0,16	1.336
2050	20 %	40.785	0,435	3.630

El volumen del gas natural requerido para la mezcla, según el porcentaje de participación se determina mediante la siguiente ecuación (4).

$$m_3 \text{ requeridos de GN} = [\% \text{ vol}] \text{ de gas natural} * m_3 \text{ de consumo total} \quad (4)$$

La estimación de la demanda energética de gas natural se observa en la tabla 9.

Tabla 9 Estimación de la demanda energética de gas natural para usarlo como combustible.
(Fuente: Elaboración propia).

Año	Participación [%vol]	Volumen [m ³]	Energía [TJ/año]
2025	95 %	129.824	5,052
2030	90 %	135.100	5,257
2050	80 %	163.141	6,348

Producción de hidrógeno verde

Los electrolizadores son aparatos que permiten la obtención del hidrógeno mediante la electrólisis de agua. Los principales tipos se describen en la tabla 10.



Tabla 10 Comparación de las tecnologías más importantes de electrólisis del agua. (Fuente: Elaboración propia).

Electrolizador	Óxido sólido	Membrana de Intercambio Protónico (PEM)	Alcalino
Electrolito	Cerámica	Polímero	NaOH/KOH
Portador carga	O ²⁻	H ⁺	OH ⁻
Temperatura	1000°C	80°C	80°C
Estado de la tecnología	Nivel laboratorio	Inicio comercial	Madura y comercial
Máxima potencia actual (MW)	-	2	150
Costo inversión (USD/kW)	2.800-5.600	1.100-1.800	500-1.400
Vida útil (horas)	Alrededor de 1.000	20.000-60.000	60.000-90.000

Los criterios establecidos para la elección del electrolizador fueron:

- Cumplimiento de la demanda.
- Sistemas de purificación.
- Costo

De acuerdo a los criterios, la mejor alternativa es el electrolizador alcalino. Sus principales características son; que utiliza un líquido electrolítico de solución acuosa (KOH o NaOH) para maximizar la conductividad iónica y que no exige electrodos de metales preciosos, lo que baja considerablemente su costo. El nivel de pureza del H₂ obtenido alcanza un 99,5% sin equipos adicionales de purificación y la eficiencia de operación varía entre 65 a 82%.

En la figura 2 se muestra un diseño de los componentes de un electrolizador alcalino, denominado stack¹².

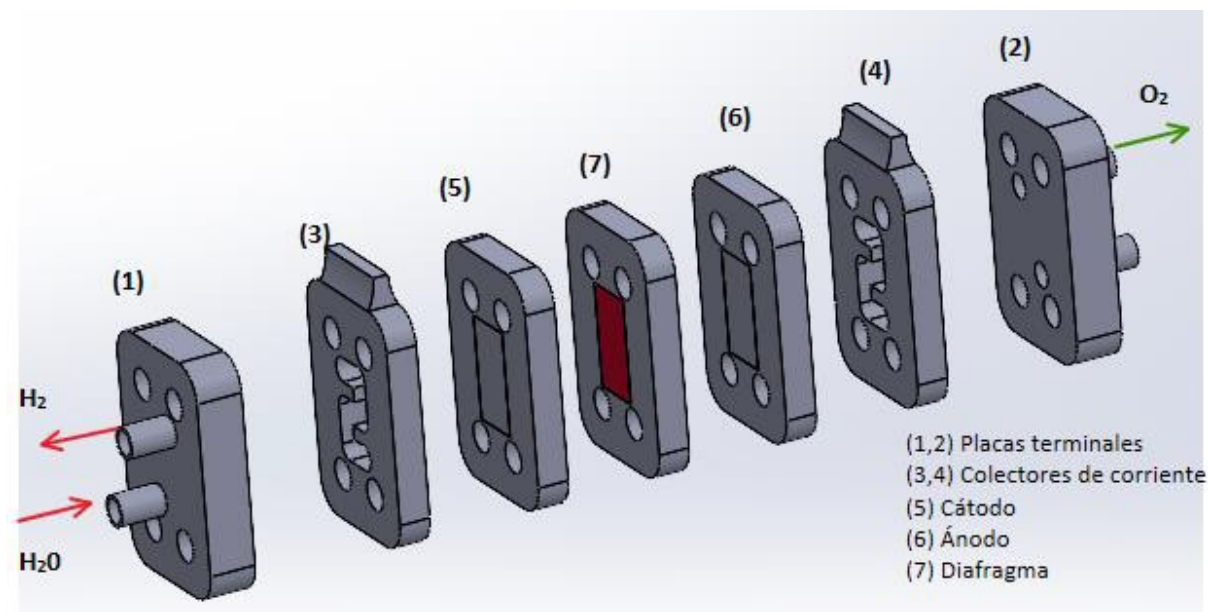


Figura 2 Componentes de un stack tipo alcalino.

(Fuente: Elaboración propia en Solid Works).

Para satisfacer la de demanda de la red de hidrógeno verde se utilizará un electrolizador, el cual debe poseer un sistema central de enfriamiento, un compresor de aire, un sistema de purificación de H_2 , un sistema de almacenamiento. En la figura 3 se muestra el diseño conceptual de la planta de hidrógeno verde.

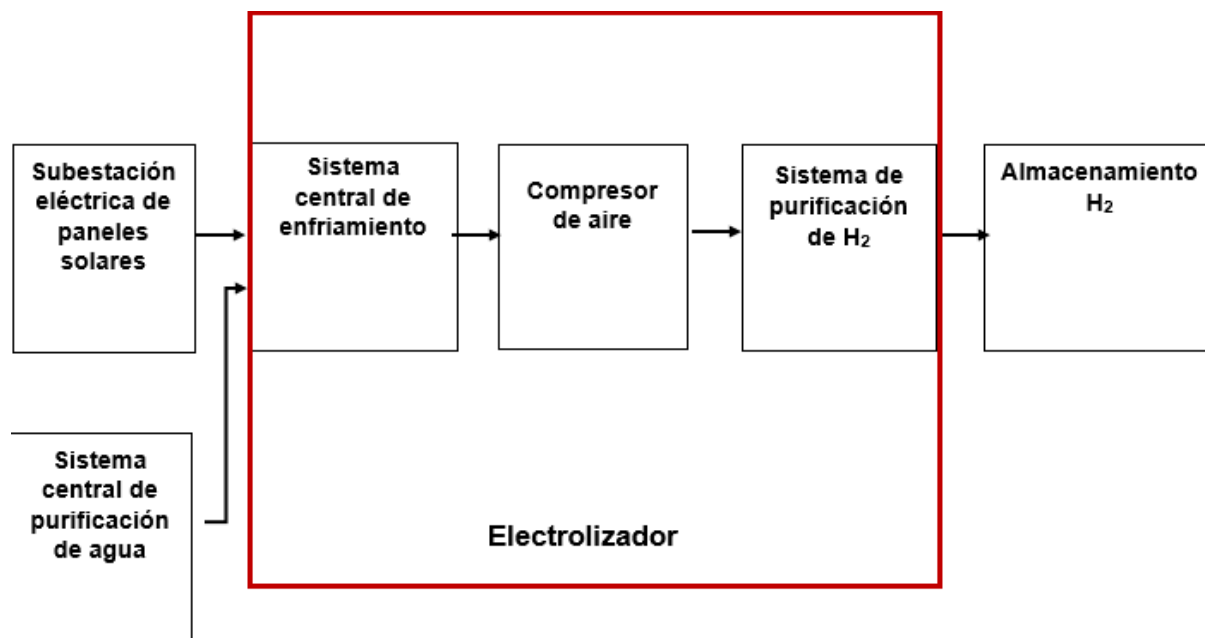


Figura 3 Diseño conceptual de la planta de hidrógeno verde.

(Fuente: Elaboración propia).



Para la producción del hidrógeno se necesita un aporte continuado de agua de alto grado de pureza que se introduzca directamente en el electrolizador. El electrolizador escogido posee una planta de tratamiento de agua por osmosis inversa que requiere de 13 a 17 L/kg de H₂, donde se pretende inyectar agua de la red de distribución de la APN. Para eso, se debe instalar una tubería HDPE, un material termoplástico, la cual tendrá una longitud de 155,23 metros, para que el agua sea conducida desde la toma que se encuentra a las afueras del Casino de Oficiales hasta la ubicación del electrolizador. Además, contará con un tanque de almacenamiento para el agua de 100 [L], en caso que haya algún problema con el suministro.

Para determinar la cantidad de agua necesaria en la producción de hidrógeno se considera que para generar 1 kilogramo de este último se necesitan 13 litros de agua desalinizada. Por ende, para estimar la demanda de H₂ para el 2025, es importante considerar cuantas horas se tendrá en funcionamiento el electrolizador, en este caso, se utilizarán 8 horas diarias. Luego, para dicha cantidad de hidrógeno que fue estimada (608 kg/anuales) se consumirían 21,66 [L/diarios], lo que equivale a 2,71 [litros/h], como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11 Proyección del agua pura requerida para la producción de hidrógeno.

(Fuente: Elaboración propia).

Año	Consumo de agua [litros/día]	Consumo de agua [litros/h]
2025	21,66	2,71
2030	47,58	5,95
2050	129,28	16,16

Se recomienda que la ubicación geográfica de la planta de hidrógeno verde al interior de campus, esté cercano a la toma de gas natural y agua.

Suministro de energía

Para el suministro de energía se apostó por una subestación eléctrica de paneles solares.

Los paneles operan en corriente continua y el electrolizador alcalino en corriente alterna, por ende, se requiere de usar un inversor.

Las celdas fotovoltaicas (FV) proporcionan valores de tensión y corriente limitados, en comparación a los requeridos normalmente por los aparatos convencionales, son extremadamente frágiles, eléctricamente no aisladas y sin soporte mecánico. El módulo FV es una estructura robusta y manejable sobre la que se colocan las celdas FV, que es capaz de sujetarlo y que se orienta para optimizarla de la radiación solar. Por otro lado, los sistemas fotovoltaicos se refieren a una amplia variedad de sistemas de energía solar que usan paneles hechos de celdas de silicio policristalino o monocristalino, llamados paneles



fotovoltaicos (SFV), los que generan electricidad a partir de la intensidad de la radiación solar, no del calor, por lo que el frío representa ningún problema.

La cantidad de energía producida por un SFV varía durante el año en función de la radiación de la localidad y de la altitud de la misma. La plataforma de “Explorador Solar” es una fuente gratuita del Ministerio de Energía que permite conocer la cantidad de radiación que se recibe en cualquier punto del país, por ende, con la ayuda del mapa se puede localizar el sitio de interés, en este caso, se ingresan las coordenadas 32,99° latitud Sur y 71,55° longitud Oeste, correspondiente al Campus Hyatt, específicamente la techumbre del pabellón N°1 y N°2. Una vez que se ha escogido el sitio donde se instalará el sistema fotovoltaico, se podrá tener acceso a la información de la radiación incidente y la generación fotovoltaica en un arreglo con inclinación.

Los criterios de diseño para la elección del sistema fotovoltaico son:

Radiación solar

Para realizar el análisis de la radiación solar del sector en estudio, se obtiene la información de la irradiancia en hora solar pico (HSP) medida en kWh/m²/día, específica para la posición geográfica señalada. El concepto de horas solar pico se define como el número de horas con una irradiancia ideal de 1 kW/m² que se necesitan para proporcionar la misma radiación que se produce en la localización analizada a lo largo de un día completo. La tabla 12 muestra los HSP y consumo del campus Hyatt.

Tabla 12 HSP y consumo del Campus Hyatt.

(Fuente: Datos de <https://solar.minenergia.cl/exploracion>).

Meses	HSP [kWh/m ² /día]	Consumo diario (kWh/día)	Consumo (kWh/HSP)
Enero	5,26	50	9,51
Febrero	5,24	50	9,54
Marzo	4,71	50	10,62
Abril	4,06	50	12,32
Mayo	2,87	50	17,42
Junio	3,03	50	16,50
Julio	3,1	50	16,13
Agosto	3,55	50	14,08
Septiembre	4,04	50	12,38
Octubre	4,55	50	10,99
Noviembre	4,88	50	10,25
Diciembre	5,17	50	9,67



Superficie disponibles

Un aspecto relevante en la localización de los módulos es asegurar que no existan obstáculos que puedan dar sombra, al menos durante las horas centrales del día. Estas características determinan la ubicación del SFV, su exposición respecto al sur geográfico, la mayor inclinación sobre el plano horizontal, y las características de las estructuras de soporte. Es por eso, que se pretende ocupar la superficie disponible de la techumbre del pabellón N°1 y N°2 para instalar los paneles solares, el cual tiene un área total de 1.531 m² y posee planchas de zinc.

Posicionamiento de los paneles

Para determinar el posicionamiento de los paneles, va a depender de la superficie disponible, siempre en búsqueda de obtener la mejor eficiencia al sistema, por lo cual, en ese sentido, lo que entra en juego es utilizar correctamente la superficie como también entregarle al sistema una orientación e inclinación lo más óptima posible. Dependiendo del trayecto del Sol, para este caso, la herramienta entrega al usuario el azimut¹⁴ óptimo para colocar los paneles de forma que se maximice la generación de energía eléctrica, el cual sería 26° hacia el Oeste con respecto al Norte.

Selección de los módulos solares

Se realiza una búsqueda de mercado de empresas de la industria fotovoltaica. Se ha tenido en cuenta la eficiencia de los paneles solares, optando por la más alta posible y un precio menor frente a módulos que cumplan las mismas características. Por ende, se ha seleccionado la empresa “Natura Energy” de la comuna de Providencia, de la región Metropolitana. Las principales características técnicas se mencionan en la tabla 13.

Tabla 13 Especificaciones técnicas del panel solar SN-144M. (Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la empresa).

Especificaciones	Panel Solar SN-144M
Potencia máxima [W]	555
Tensión máximo potencia (V)	41,48
Corriente máxima potencia (A)	13,38
Tensión de circuito abierto (V)	49,98
Corriente en cortocircuito (A)	13,87
Eficiencia del módulo (%)	21,49
Dimensiones [mm]	2.279x1.133x35

Se debe cubrir 50 kW de consumo diario, por ende, sabiendo la potencia del módulo fotovoltaico se podrá obtener la producción de cada módulo en kW a lo largo de un día. A una mayor potencia del módulo, mayor energía podrá producir y menor número de módulos solares se necesitarán para una misma cantidad de energía. Se eligió un módulo de potencia 555 W, ya que son los que tienen una mayor potencia que se comercializan actualmente en Chile. Para calcular la energía del panel solar, se considera la equivalencia de 1 kW = 3,6 MJ y la ecuación (5):



$$E_p = P_p * HSP * \eta_p \quad (5)$$

Donde,

HSP es la hora solar pico [kW/m²/día].

P_p es la potencia nominal [W].

η_p es el rendimiento del panel.

La hora solar pico es 2,87 [kW/m²/día], es decir, 10,33 [MJ/m²/día]. El rendimiento del panel es 21,49% y la potencia nominal es 555 [W], dando como resultado 1232,29 [W/día].

A partir de la demanda diaria del electrolizador y la energía del módulo, se calcula la cantidad de paneles solares necesarios como se muestra en la ecuación (6).

$$N^{\circ} \text{ módulos} = \frac{\text{Consumo diario}}{E_p} \quad (6)$$

Donde, el consumo diario y E_p se mide en [W/día].

Siendo el consumo diario 50.000 [W/día] y la energía del panel 1.232,29 [W/día], se obtienen 41 paneles solares. La potencia del sistema fotovoltaico resulta 22,52 (kWh/día), la cual se calculó con la ecuación (7).

$$\text{Potencia del SFV} = N^{\circ} \text{ módulos} * \text{potencia módulo} \quad (7)$$

Selección de inversor

El inversor debe ser capaz de transformar la corriente continua aportada por el generador fotovoltaico en corriente alterna que pueda ser utilizada por el electrolizador. Es por eso, que para esta instalación se debe considerar una configuración de uno o varios inversores que puedan suministrar al electrolizador (50 W), además, de tener en cuenta la selección de la condición eléctrica de entrada del electrolizador, la cual debe coincidir con la salida del inversor. Es decir, debe encontrarse dentro de los parámetros que se muestran en la ficha técnica del electrolizador escogido.

Almacenamiento

El almacenamiento se realizará en tanques metálicos que tienen una pared más delgada que los tradicionales, con materiales como poliamidas que disminuyen el peso del tanque y presentan una alta barrera de escape del gas (Guerrero 2020). Se debe considerar que a la salida del electrolizador, el hidrógeno tiene una presión aproximada de 30 bar, por lo cual es necesario comprimirlo hasta aproximadamente 500 bar para poder ser almacenado.



Consideraciones para el uso final

Para el uso de H₂ verde las calderas deben reacondicionadas, considerando:

- Un reemplazo del quemador de la caldera, ya que la llama se propagará debido a la velocidad de llama que tiene el hidrógeno.
- Un colorante de llama para el hidrógeno con la finalidad de visualizar este gas, en caso que haya alguna fuga.
- Rediseñar los sellos de las válvulas de gas para evitar fugas de hidrógeno, donde se debe ajustar a un flujo diferente de gas debido al cambio del poder calorífico.
- Los tubos de escape deben ser diseñados para permitir que los gases no sean expulsados a una mayor temperatura que para los sistemas de gas natural.
- Rediseñar el intercambiador de calor para una mejor transferencia, pero la operación general no se verá afectada.

Las propiedades que se analizaron son: poder calorífico, límite de inflamabilidad y temperatura de la llama adiabática de la mezcla, con respecto al gas natural.

El poder calorífico se define como la cantidad de energía liberada por un combustible cuando se quema estequiométricamente y los productos de la combustión salen a igual condición con respecto a la presión y temperatura a la que entran. Para hidrocarburos e hidrógeno, debido a la formación de agua en la combustión de éstos, es necesario diferenciar entre poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI), donde en el PCS se considera que el agua de los humos sale en estado líquido, aprovechando su entalpía de vaporización, y en el otro en estado gaseoso respectivamente.

Para determinar el poder calorífico de la mezcla se realizó el cálculo utilizando la ecuación (8), con los datos de cada combustible.

$$PC_m = f_{GN} * PC_{GN} + f_{H_2} * PC_{H_2} \quad (8)$$

Donde,

f_{GN} es la fracción volumen del gas natural.

f_{H_2} es la fracción volumen del hidrógeno.

PC_{GN} es el poder calorífico superior del gas natural [Kcal/kg].

PC_{H_2} es el poder calorífico superior del hidrógeno [Kcal/kg]. PC_m es el poder calorífico de la mezcla [Kcal/kg].

Se observa que con una inyección de un 5 [%vol] de H₂ al gas natural, el poder calorífico aumenta un 7%. Luego, al inyectar un 10[%vol] de H₂ el poder calorífico aumenta un 14% y finalmente, al inyectar un 20 [%vol] incrementa en un 24% con respecto al PCS del gas natural. A nivel práctico, este resultado orienta



que al utilizar mezclas con adiciones hasta el 15 [%vol] de H₂ en el gas natural, no se tendrían grandes modificaciones en los sistemas de combustión para tener intercambiabilidad de los gases utilizados, debido a que no hay variaciones muy significadas. La tabla 14 muestra los valores obtenidos.

Tabla 14 Poder calorífico de la mezcla [Kcal/kg].

(Fuente: Elaboración propia).

Año	Participación de H ₂ [%vol]	Participación de GN [%vol]	Poder calorífico de la mezcla [Kcal/kg]
2025	5 %	95 %	14.141
2030	10 %	90 %	15.182
2050	20 %	80 %	17.263

Los límites de inflamabilidad corresponden a las proporciones mínimas y máximas del gas en la mezcla con el aire, en las que son inflamables. Se expresan en [%vol] del vapor de combustible-aire.

El cálculo del límite de inflamabilidad superior e inferior de la mezcla se realizó utilizando la ecuación (9) y los valores de la tabla 3:

$$1 = \frac{A}{L_{GN}} + \frac{B}{L_{H_2}} \quad (9)$$

Donde,

A es el porcentaje de gas natural en la mezcla [%vol].

B es el porcentaje de hidrógeno en la mezcla [%vol].

L_{GN} límite de inflamabilidad superior o inferior del gas natural.

L_{H₂} Límite de inflamabilidad superior o inferior del hidrógeno.

L_M límite de inflamabilidad superior o inferior de la mezcla.

El límite de inflamabilidad inferior no tiene una variación significativa debido a la similitud para el hidrógeno y gas natural. En cambio, el límite superior presenta una alta variación, debido a que es mucho mayor para el hidrógeno. Por ende, el intervalo de inflamabilidad de la mezcla resultante aumentará al adicionar hidrógeno. Este resultado implica incrementar las medidas de seguridad cuando se opere el equipo con la mezcla que contenga hidrógeno, puesto que al provocarse una fuga aumenta la posibilidad que al mezclarse con el aire del lugar ésta se vuelva inflamable. Los límites de inflamabilidad de la mezcla de para distintas mezclas se observan en la tabla 15.



Tabla 15 Límite de inflamabilidad de la mezcla [%vol].

(Fuente: Elaboración propia).

Año	Participación de H ₂ [%vol]	Participación de GN [%vol]	Límite inflamabilidad inferior [%vol]	Límite inflamabilidad superior [%vol]
2025	5 %	95 %	4,378	17,683
2030	10 %	90 %	4,356	18,425
2050	20 %	80 %	4,314	20,110

Durante un proceso de combustión exotérmica de una mezcla reactiva combustible-aire se desprende una cantidad considerable de energía, la cual va acompañada de un incremento de temperatura. Esto va a depender de las características del sistema, en este caso, la cámara de combustión de las calderas y la energía se transfiere como calor a través de las paredes del sistema, y el resto permite elevar la temperatura de los productos.

Los componentes que se encuentran presentes en la mezcla se presentan en la tabla 16.

Tabla 16 Componentes de la mezcla.

(Fuente: Gasvalpo).

Elemento/Compuesto	Fórmula
Metano	CH ₄
Etano	C ₂ H ₆
Dióxido de carbono	CO ₂
Oxígeno	O ₂
Nitrógeno	N ₂
Hidrógeno	H ₂

Para determinar la temperatura de llama adiabática se balancea la ecuación de combustión, se debe calcular la presión de vapor considerando con una humedad relativa de 80% y una presión de saturación de 13°C, según la siguiente ecuación (10):

$$P_v = HR * P_{sat} 13^{\circ}C \quad (10)$$

Donde,

HR es la humedad relativa [%].



La presión de vapor obtenida como resultado es 1,211 [kPa] y se utilizó para obtener los moles de vapor de agua considerando un exceso de 20% de aire. La ecuación utilizada es la ecuación de combustión de la Ley de Dalton (ecuación 11), y el número de moles obtenidos para el vapor de agua es 0,024 [Kmoles.]

$$\frac{n_v}{n_A + n_v} = \frac{P_v}{P_T} \quad (11)$$

Donde,

n_v y n_A son el número de moles de vapor de agua y de aire seco, respectivamente [Kmoles].

P_v y P_T son la presión de vapor de agua y presión atmosférica a nivel del mar, respectivamente [kPa].

La ecuación de combustión balanceada es:



Los valores de la entalpía de los diversos componentes a 286 [K] se obtienen de la tabla de valores de entalpía para los gases de combustión, como se muestra en la tabla 17.

Tabla 17 Propiedades de los componentes.
(Fuente: Tablas termodinámicas del libro Cengel).

Sustancia	h_f° [kJ/mol]	h_{286K}
CH ₄	-74.850	-
C ₂ H ₆	-84.680	-
CO ₂	-393.520	8.916,6
O ₂	0	8.325,8
N ₂	0	8.315,6
H ₂ O	-241.820	9.497
H ₂	0	8.117,8

Por último, se determina la temperatura de llamada adiabática para una inyección de 5 [%vol] de H₂. Como el sistema es perfectamente adiabático, la temperatura de los productos puede alcanzar el máximo valor de temperatura posible, dependiendo del combustible. Esta temperatura es un valor ideal y se asume que la combustión es completa y no se libera calor hacia los alrededores, obteniendo una relación de la temperatura de llama adiabática igual a $H_{prod} = H_{react}$, calculándose con la siguiente ecuación (12).



$$\sum n_P (h_f^\circ + h - h^\circ)_P = \sum n_R (h_f^\circ + h - h^\circ)_R$$

(12)

Donde,

h_f° es la entalpía de formación [kJ/kmol].

$h - h^\circ$ es la entalpía sensible del componente [kJ/kmol].

n_P y n_R son el número de moles de los productos y reactantes, respectivamente [Kmoles].

La entalpía obtenida es 868.756,19 [kJ].

La temperatura de la llama adiabática es 2.232 [K], subiendo en un 12% con respecto a la temperatura de llama del gas natural. Esto implica que al inyectar un porcentaje reducido de hidrógeno, se verá afectada la temperatura de llama de una manera significativa, por lo que se debe tener presente verificar si el equipo resiste estas temperaturas.

Reducción de las emisiones

Para determinar la reducción de CO₂, se dimensionó las emisiones de CO₂ de las 17 caldera, considerando la demanda energética y el factor de emisión (FE) que se encuentra en la tabla 18, el cual relaciona una cantidad específica de fuente emisora en cantidad emitida de GEI.

Tabla 18 Factor de emisión de los combustibles fósiles según CO₂ eq.

(Fuente: IPCC).

Combustible	CO ₂ eq. (kg/TJ)
Petróleo diésel	73.700
GLP	65.700
GN	56.300

Con la ecuación (13) se calcula las emisiones de CO₂ emitido y con la ecuación (14) se determina el CO₂ eq. evitado que se produce en el escenario propuesto al utilizar la energía del hidrógeno verde.

$$\text{Emisiones} \left(\frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{año}} \right) = \text{FE} \left(\frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{TJ}} \right) * \text{consumo energético gas natural} \left(\frac{\text{TJ}}{\text{año}} \right) \quad (13)$$

$$\text{Evitado} \left(\frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{año}} \right) = \text{FE} \left(\frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{TJ}} \right) * \text{demanda energética H}_2 \left(\frac{\text{TJ}}{\text{año}} \right) \quad (14)$$



En la tabla 19 se encuentra la proyección de las emisiones para el rango del 2025-2050.

Tabla 19 Estimación de las emisiones de CO2 para el escenario actual.
(Fuente: Elaboración propia).

Año	Demanda energética (TJ)	Emisiones de CO ₂ eq. (Ton/año)
2025	5,32	350
2030	5,84	379
2050	7,94	493

La disminución de la generación de dióxido de carbono se determina a partir de utilización de hidrógeno y gas natural, por lo tanto, para realizar el cálculo se usa el factor de emisión correspondiente al tipo de combustible para calcular el evitado y lo emitido de CO2 eq., el cual sería al que se llegaría si se implementa la mezcla de gas natural e hidrógeno, como se muestra a continuación en la tabla 20.

Tabla 20 CO2 eq. emitido y evitado utilizando la mezcla de gas natural e hidrógeno.
(Fuente: Elaboración propia).

Dato	Caso 5% inyección H ₂	Caso 10% inyección H ₂	Caso 20% inyección H ₂	Unidad
CO ₂ emitido	278	286	335	Ton CO ₂
CO ₂ evitado	4,02	8,73	22,98	Ton CO ₂

La figura 4 muestra una comparación de las emisiones de CO2 entre ambos escenarios.

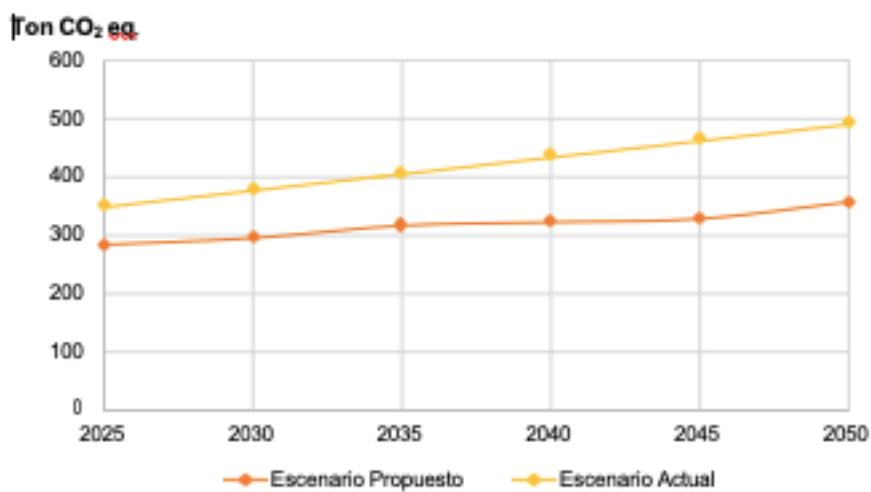


Figura 4 Comparación de las emisiones de CO2 eq. entre ambos escenarios. (Fuente: Elaboración propia).



El CO₂ eq. evitado está representado por la brecha entre ambas líneas de proyección, la cual se hace cada vez mayor con el transcurso de los años. Si la propuesta se lleva a cabo, a medida que aumenta la tasa de incorporación de H₂, las emisiones de CO₂ eq. del Campus Hyatt atribuidas al consumo de combustible en las calderas, se mantienen controladas y se reducen en un 21% para el año 2025, un 24% para el 2030 y un 32% para el 2050. En cambio, la proyección en el escenario actual muestra una pendiente más inclinada, es decir, año a año la generación de CO₂ presenta un crecimiento considerable, lo que provoca que entre el 2025 y el 2050, el porcentaje de incremento de emisiones proyectadas sea de un 29%.

Conclusión

En la matriz energética actual del Campus Hyatt, predomina el uso de combustibles fósiles en la alimentación de sus 17 calderas.

Para el desarrollo de una planta conceptual de hidrógeno verde, se analizó la cadena de valor del hidrógeno, la cual comprende los insumos, producción, almacenamiento y uso final, desmostrándose la factibilidad de la utilización de hidrógeno verde como fuente energética en el Campus Hyatt producido con un sistema fotovoltaico.

El sistema fotovoltaico fue dimensionado considerando la peor situación de radiación solar anual.

Se eligió el electrolizador alcalino para la planta de hidrógeno verde, debido a que es una tecnología conocida, que no requiere metales nobles como catalizador, siendo más económico.

Al adicionar hidrógeno al gas natural tiene un efecto mayor en los límites de inflamabilidad, en el poder calorífico y la llama adiabática, lo que indica que la cantidad de hidrógeno a añadir tiene un limitante de seguridad.

El uso de hidrógeno como combustible, produce un decrecimiento notable en las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂ eq).

Para el 2050, con un 20 [%vol] de H₂ en la red de gas natural se proyecta una disminución de un 32% de emisiones de CO₂ eq.

Referencias Bibliográficas

Agosin, Manuel, and Eduardo Bitran. 2022. "Desafíos y Oportunidades de La Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde."

Alexander Körner. 2015. Technology Roadmap Hydrogen and Fuel Cells. www.g2oys.org/upload/auto/1888e90ef287bf674665cd8b97fffcc45164b928.pdf.

Armada de Chile. 2001. "Política Medioambiental de La Armada." : 1-3.

Bañuls Escrig, Ildefonso. 2017. "Caracterización de Electrodos de Níquel Dopados Con Nanopartículas de Paladio Para La Obtención de Hidrógeno." Universidad Politécnica de Valencia - Escuela Técnica Superior Ingenieros Industriales Valencia: 125. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/94864/73660964Z_trabajo_15125050930737632106509641415862.pdf?sequence=2&isAllowed=y.

Benavides, Henry Oswal. 2007. "Información Técnica Sobre Gases de Efecto Invernadero y El Cambio Climático." Ideam: 1-102. www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf.



Bernal, Nicolás García. 2021. "Matriz Energética y Eléctrica En Chile." Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

Deloitte. 2016. "Sector Energía I: Marco Regulatorio y Matriz Energética Chile."

Deloitte Chile: 34. b.

GCP. 2021. "Global Carbon Project (GCP)." : 2021. <http://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2016/10/Plan-de-Acción-Nacional-de-Cambio-Climático-ver-oct-2016-aprobado-1.pdf>.

Farzad, Somayeh, Mohsen Ali Mandegari, and Johann F. Görgens. 2016. "A Critical Review on Biomass Gasification, Co-Gasification, and Their Environmental Assessments." *Biofuel Research Journal* 3(4): 483-95.

Guerrero, Francisca. 2020. "Análisis Del Uso de Hidrógeno Verde En Camiones de Extracción En La Minería Para Contribuir a La Reducción de Gases de Efecto Invernadero." 21(1): 1-9. <http://mpoc.org.my/malaysian-palm-oil-industry/>.

IEA. 2021. "Hidrógeno En América Latina." : 95.

https://iea.blob.core.windows.net/assets/8bad1e39-1587-4770-b60a-c9368e6347ae/IEA_HydrogeninLatinAmerica_Fullreport_Spanish.pdf.

International Energy Agency. 2021. "Global Hydrogen Review 2021." *Global Hydrogen Review 2021*.

IRENA. 2021. *International Renewable Energy Agency Renewable Power Generation Costs in 2021*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA_2017_Power_Costs_2018.pdf.

Luiza Demôro, Sofia Maia, and Felicia Aminoff. 2021. "Climatescope 2021."

Bloomberg.

Martínez, Ignacio. 2018. "Cambio Climático y Desarrollo Sustentable: Desafíos Para La Armada de Chile." *Revista Marina*. <https://revistamarina.cl/es/articulo/cambio-climatico-y-desarrollo-sustentable-desafios-para-la-armada-de-chile>.

Ministerio de Energía. 2016. "Política Energética de Chile." *Ministerio de Energía Gobierno de Chile*: 158.

Ministerio de Energía - Gobierno de Chile. 2017. "Estrategia Climática De Largo Plazo De Chile." *Laboratorium Penelitian dan Pengembangan FARMAKA TROPIS Fakultas Farmasi Universitas Mualawarman, Samarinda, Kalimantan Timur* (April): 5-24.

Ministerio de Energía. 2020. *Resumen Ejecutivo Estrategia Nacional Del Hidrógeno Verde*.

Ministerio de Energía. 2021. "Informe Balance Nacional de Energía 2020." https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/2022_informe_anual_bne_2020.pdf.

Ministerio del Medio Ambiente. 2021. "Informe Del Inventario Nacional de Chile 2020: Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero y Otros Contaminantes Climáticos 1990-2018." : 534. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/7305681-Chile-BUR4-1-2020-IIN-CL.pdf>.

Organización de las Naciones Unidas. 2015. "Acuerdo de París." *Cooperativismo & Desarrollo*: 29. <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/el-acuerdo-de-paris>.

Organización Meteorológica Mundial. 2021. "Boletín de La OMM Sobre Los Gases de Efecto Invernadero." *Vigilancia de la Atmósfera Global* 17(Fa 1): 1-10. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10893%0Ahttps://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=3030%0Ahttps://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=6887.



- Rondinelli, Roberto. 2012. "Chile Posee La Mayor Radiación Del Planeta." <https://www.revistaei.cl/2012/10/01/chile-posee-la-mayor-radiacion-solar-del-planeta/#>.
- Shiva Kumar, S., and V. Himabindu. 2019. "Hydrogen Production by PEM Water Electrolysis – A Review." *Materials Science for Energy Technologies* 2(3): 442–54. <https://doi.org/10.1016/j.mset.2019.03.002>.
- Shukman, David. 2019. "Cambio Climático: El Hielo de Groenlandia Enfrenta 'La Pena de Muerte'." <https://www.bbc.com/mundo/noticias-49575277>.
- Soto Alegre, Octavio Esteban. 2020. "Análisis Conceptual, Constructivo Y Experimental De Un Electrolizador Con Diferentes Electrodo, Para La Obtencion De Hidrógeno Desde Agua Pura Y Salada.": 60. <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/176192/Análisis-conceptual-constructivo-y-experimental-de-un-electrolizador-con-diferentes-electrodos.pdf?sequence=1>.
- Stiepovich, M. 2021. "Transporte y Distribución de Hidrógeno Verde Por Redes de Gas Natural En Chile: Análisis Normativo-Técnico y Propuesta Regulatoria." https://repositorio.uft.cl/xmlui/bitstream/handle/20.500.12254/2142/Stiepovich_Mattias_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Vásquez, Rainer Schröer. 2021. Inyección de Hidrógeno En Redes de Gas Natural.
- Vásquez, Rodrigo., and Felipe. Salinas. 2018. *Tecnologías Del Hidrógeno y Perspectivas Para Chile*. <https://4echile-datastore.s3.eu-central-1.amazonaws.com/wp-content/uploads/2020/07/23185348/LIBRO- TECNOLOGIAS-H2-Y-PERSPECTIVAS-CHILE.pdf>.



Caracterización mecánica y metalúrgica de piezas de acero inoxidable elaboradas mediante manufactura aditiva

T2° Sr. Juan José Rosales Morales

jrosalesm@armada.cl

Resumen

Esta investigación busca determinar un procedimiento de manufactura aditiva mediante el cual la Armada de Chile tenga la capacidad de generar repuestos a bajo costo, con rapidez y cumpliendo con los estándares establecidos para dichas piezas, evitando una dependencia crítica de empresas externas.

El método seleccionado fue el método de modelado por deposición fundida (FDM), que se caracteriza por su bajo costo de producción y baja inversión inicial. Este método consiste en imprimir una pieza mediante el depósito de polvos metálicos unidos por un aditivo en una geometría específica, utilizando diseño asistido por computadora (CAD), luego extraer el aditivo de la pieza metálica mediante un proceso denominado debinding, y finalmente, someterla a un sinterizado para consolidar la pieza.

Palabras clave: Manufactura aditiva, modelado en deposición fundida, impresión, debinding, sintetizado.

Abstract

This research seeks to determine an additive manufacturing procedure through which the Chilean Navy has the capacity to generate spare parts at a low cost, quickly, and in compliance with the standards established for said parts, thus avoiding critical dependency on external companies.

The selected method was the fused deposition modeling (FDM) method, which is characterized by its low production cost and initial investment. This method consists of printing a part by depositing metal powders bound by an additive in a specific geometry, using computer-aided design (CAD). Then, the additive is extracted from the metal part through a process called debinding, and finally, the part is subjected to sintering to consolidate it.

Keywords: Additive manufacturing, fused deposition modeling, printing, debinding, synthesis.

Introducción

Buques, equipos, sistemas y componentes de los mismos, al presentar una falla dependen de la existencia de un sistema logístico que tenga disponibilidad repuestos para que puedan ser reparados. Generalmente son empresas civiles las que proveen los repuestos, situación que podría ser crítica en momentos de conflicto.

Por lo anterior, pensando en manufacturar como Armada de Chile los repuestos necesarios para operar, se debe determinar un método a utilizar para este fin, considerando rapidez, baja complejidad, bajo costo, y tamaño reducido.

La respuesta a las características anteriores es una impresora 3D con la capacidad de imprimir metales, lo que permitiría eliminar las limitaciones de obsolescencia logística, los repuestos se podrían obtener tan rápido como estos puedan ser generados y no existiría una dependencia crítica de empresas proveedoras de repuestos.



Proceso de manufactura

La manufactura es el proceso de convertir materias primas en productos, pudiendo ser considerado el propio producto como materia prima de otro proceso de manufactura (Kalpakjian y Schmid, 1989).

Respecto al tiempo en que un determinado proceso lleva siendo utilizado en el mercado, podemos distinguir la manufactura tradicional y la aditiva.

Manufactura tradicional

La manufactura tradicional contempla los siguientes procesos:

Fundición: Proceso que consisten en verter el material fundido en un molde, esperar la solidificación, y retirar el molde para obtener la pieza confeccionada. (Kalpakjian & Schmid, 1989).

Laminado: consiste en reducir el espesor o cambiar la sección transversal de una pieza de trabajo larga mediante fuerzas de compresión aplicadas con un conjunto de rodillos (Kalpakjian & Schmid, 1989)

Forjado: proceso en el que la pieza de trabajo se moldea mediante fuerzas de compresión aplicadas por medio de matrices y herramientas. (Kalpakjian & Schmid, 1989)

Extrusión: consiste en que una palanquilla cilíndrica se fuerza a través de un dado o matriz, de manera similar a como se aprieta el tubo de la pasta dental. Por medio de la extrusión se pueden producir una gran variedad de secciones transversales sólidas o huecas. (Guerrero, 2008)

Mecanizado: consiste en retirar material de la superficie de una pieza de trabajo. Esto se puede hacer de diversas formas, algunas de ellas son: Cilindrado, la pieza de trabajo gira y una herramienta de trabajo remueve material desplazándose paralelamente al eje de giro; Tronzado, la pieza de trabajo gira y una herramienta de trabajo se mueve de forma radial hacia el eje de giro, cortando la pieza en dos partes; Fresado de careado, una herramienta de corte giratoria retira una capa superficial de la pieza de trabajo; Fresado frontal, un cortador giratorio se desplaza a cierta profundidad a lo largo de una pieza y produce una cavidad. (Kalpakjian & Schmid, 1989).

Manufactura aditiva

La manufactura aditiva (AM) es una tecnología de fabricación empleada para crear un objeto capa por capa utilizando un diseño asistido por computadora (CAD) (Wong & Hernández, 2012), además tiene otras capacidades, como crear una complejidad de forma, complejidad jerárquica, complejidad material y complejidad funcional (Singh et al., 2017).

Los avances en estos métodos de manufactura han alcanzado ámbitos de acción como: el médico, en implantes de columna vertebral (Meena et al., 2021) y otras aplicaciones médicas (Kumar et al., 2021); en el desarrollo de metamateriales para funciones específicas (Fan et al., 2021); en la construcción de casas y estructuras (Paolini et al., 2019); en la industria aeroespacial y automovilística; y en repuestos y soluciones para el sector de la defensa debido al contraste entre la velocidad de adquisición de repuestos y el bajo costo monetario de manufactura (Busachi et al., 2017). Estos avances han permitido desarrollar de mejor forma la topología de optimización, ya que luego de hacer los ensayos iniciales, el producir la pieza corregida en 3D, simular su comportamiento e imprimirla para probar de forma empírica su optimización, es relativamente rápido y simple de hacer (Zhu et al., 2021).

Una forma de clasificar la manufactura aditiva es a través de los distintos procesos existentes diferenciándolos según la materia prima que utilizan (Ghanavati & Naffakh-Moosavy, 2021).

Procesos a base de polvos metálicos

Estos procesos utilizan como base polvos metálicos de uno o más elementos, que son unidos por dos vías. La primera es con una sinterización directa por láser, mientras que la segunda agrupa los polvos metálicos con un aditivo que se inyecta de forma puntual en los sectores requeridos, y posteriormente la pieza de polvos metálicos aglutinados con el aditivo se somete a un proceso de sinterización convencional (Ansari et al., 2021). Esto corresponde a las figuras 1 (a), (d) y (f).

Procesos a base de cable

La materia prima en este proceso se aporta mediante un cable del material que se quiera confeccionar la pieza (Pattanayak & Sahoo, 2021), el cual es adherido al sustrato o al resto de la pieza mediante una sinterización por láser, o mediante un arco eléctrico que funde el cable (Lin et al., 2021). Esto corresponde a las figuras 1 (b) y (c).

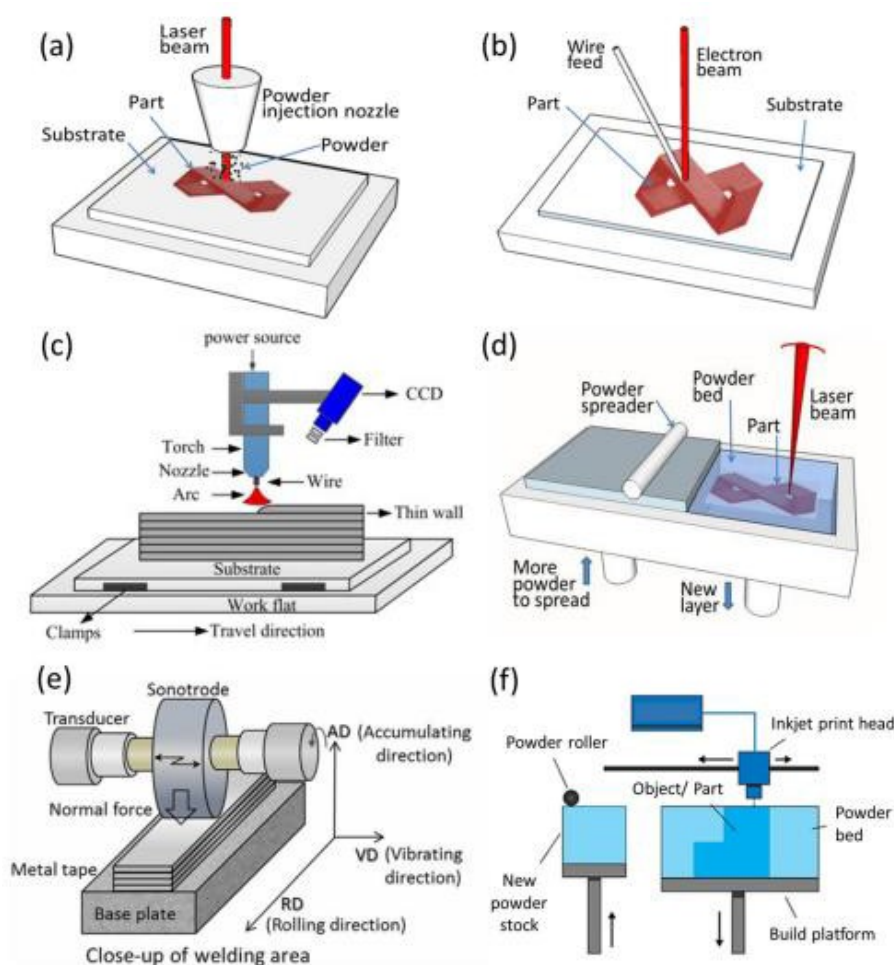


Figura 1: Representación gráfica de distintos métodos de manufactura aditiva. (T. DebRoy et al, 2017).

Procesos a base de filamento o pellets

En esta categoría, la materia prima no es 100% metal, si no que su composición consta entre un 20% y un 50% de un aditivo, y entre un 50% y 80% de polvos metálicos (Fu et al., 2021). Como indica el nombre, esta mezcla se encuentra en formato de un filamento entero, o cortado en forma de pellets.

Dentro de esta categoría cabe destacar el método de modelado por deposición fundida (FDM), el cual funciona tanto con filamentos como pellets, y es el objeto de estudio de esta investigación.

Respecto a la materia prima, los pellets poseen una ventaja sobre los filamentos, ya que al suministrar el material en un receptáculo que a su vez alimenta al extrusor, no es necesario interrumpir el proceso de impresión.

La confección de objetos mediante este método consta de tres grandes partes:

Impresión: Para lograr imprimir una pieza, es necesario primeramente tener un archivo de geometría 3D, típicamente se utiliza para este fin el formato de archivo STL, el cual es importado a un software de corte de geometría que dividirá esta, en capas de altura variable según se especifique en los parámetros del programa, en paralelo y según se haya configurado, se determina un recorrido para el extrusor en cada capa, esta información permite conocer cómo se depositará el material de impresión capa por capa para lograr crear la pieza requerida. La información descrita en este párrafo, se concentra en un código llamado G-Code y es el archivo que se ingresa a la impresora para que esta comience a trabajar.

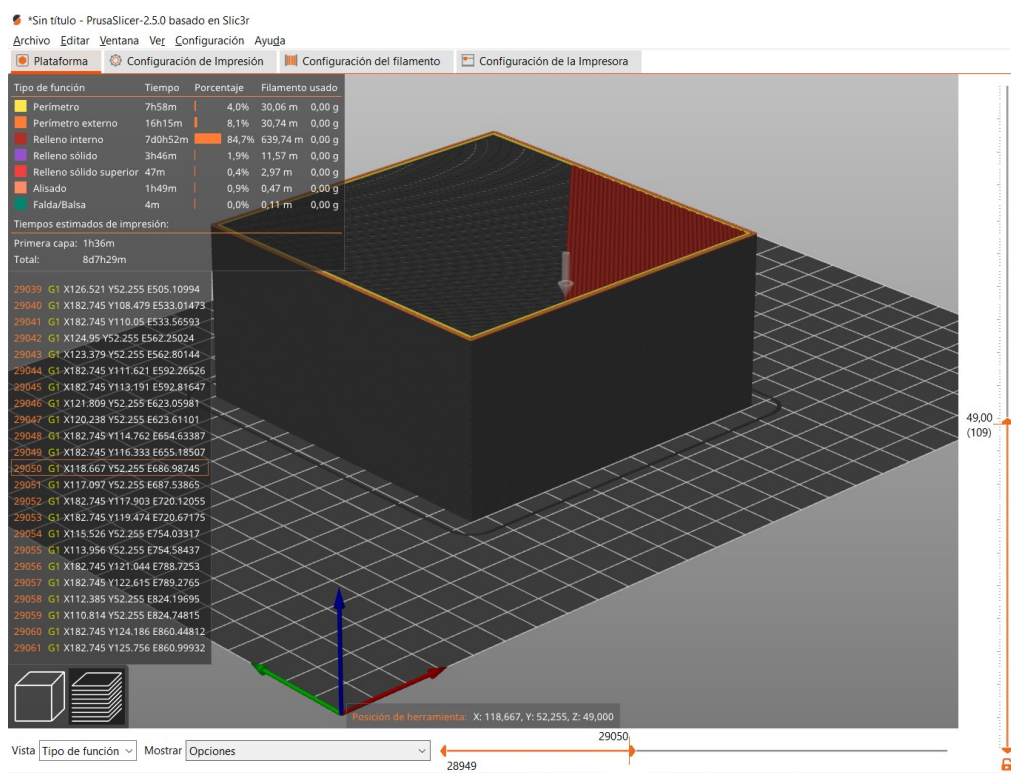


Figura 2: Captura de pantalla de geometría cúbica laminada en el programa PrusaSlicer. (Elaboración propia)



El código permite manejar muchas variables. En las imágenes a continuación, del programa de fuente abierta Prusaslicer, se muestra las pantallas que se observan al momento de ingresar las variables operacionales.

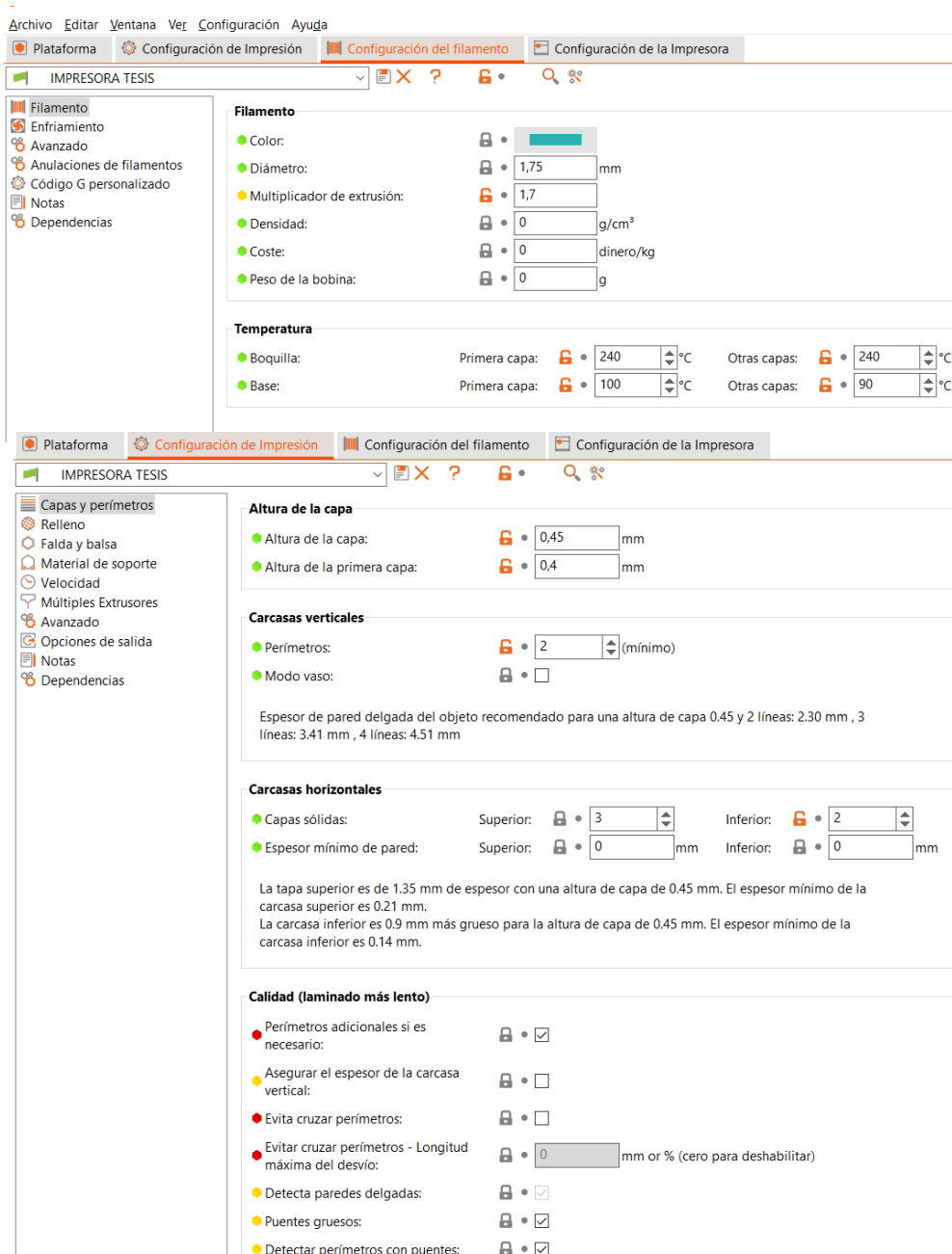


Figura 3: Captura de pantalla de ventanas de ajuste de variables en el programa PrusaSlicer. (Elaboración propia)

Con el G-Code ingresado a la impresora, comienza el proceso de impresión que tendrá como materia prima, para el caso de la manufactura aditiva de metales, pellets o filamentos compuestos de un aditivo y los polvos metálicos, los que serán depositados en el sustrato a la velocidad y tasa de deposición configurada previamente.



Las variables de variación común son las temperaturas de la cama y del extrusor, la velocidad del cabezal, la velocidad de extrusión, el tamaño de la boquilla, el ancho del camino extruido y la superposición de los mismos (Ouradnik, 2019). Terminado el proceso de impresión, se habla de una pieza en verda, que contiene las partículas de polvo metálico y el aditivo en su totalidad.

Debinding: El material aglutinante debe eliminarse de la parte recién impresa. Hay varios procesos de debinding, como los procesos térmicos, solvente y catalítico. Además de sus medios, lo que hace que estos tres tipos difieran entre sí incluye el proceso. En el proceso de debinding térmico, la temperatura oscila entre 60 °C y 600 °C dependiendo de la composición de la materia prima y el medio que se emplee. En el proceso debinding con solventes, se pueden emplear disolventes de heptano o tricloroetano, y la pieza se deja reposar en este medio para que el aditivo principal se disuelva en él. En el proceso catalítico, se puede emplear ácido nítrico u oxálico a temperaturas que oscilan entre 110 °C y 150 °C. El proceso térmico es el más utilizado. Llevamos a cabo el proceso calentándolo a una temperatura específica y manteniéndolo durante un cierto periodo de tiempo. La duración de la detención está respaldada por el contenido del material aditivo en la materia prima. La temperatura empleada no debe ser demasiado alta ya que hará que el material aglutinante se carbonice (Wankhede et al., 2019). Terminado el proceso de debinding primario, se habla de una pieza en café, que está compuesta por los polvos metálicos y el aditivo que será removido en el debinding termal.

Sinterización: Este proceso consiste en elevar la temperatura de un material relativamente cerca de su punto de fusión, para que por difusión en estado sólido la pieza aumente su densidad y las partículas de polvo aumenten en consecuencia el área de contacto entre ellas (Mirzababaei et al., 2022). Esta es la última de las tres etapas del proceso de manufactura de modelado por deposición fundida (Liu et al., 2020), sin perjuicio de posibles tratamientos térmicos, mecánicos o superficiales que puedan sufrir las piezas confeccionadas.

Propiedades metálicas y metalúrgica

Los materiales que conforman los equipos y componentes de los sistemas que operamos, tienen una composición química, propiedades mecánicas y metalúrgicas que permiten conocer, simular y anticipar su comportamiento en un determinado contexto de utilización. Lo anterior, es de suma importancia para elementos estructurales de un buque, componentes de un motor, soportes de sistemas y en general cualquier elemento que se vea sometido a esfuerzos mecánicos considerables.

Cuando el proceso de manufactura que se toma para obtener un componente es estándar, las propiedades que se obtienen de este son previamente conocidas y acotadas a rangos determinados, situación que no se cumple en los casos en los que el proceso no está estandarizado.

Las propiedades mecánicas que se deben conocer son:

Esfuerzo de fluencia: Se define como la fuerza aplicada sobre un área de sección determinada, que se traduce en una presión calculable con las variables mencionadas. El esfuerzo de fluencia corresponde a aquel en el que se sobrepasa el límite elástico del material, punto en el que al seguir aumentando el esfuerzo mecánico al que está sometido el material, comienza a haber deformación plástica. Dicho en otras palabras, el esfuerzo de fluencia marca el fin del rango elástico de un material (Kalpakjian & Schmid, 1989). En general, para la producción de piezas mecánicas, se trabaja con este valor considerando un factor de seguridad, que limita a cuantas veces menos esfuerzo se someterá a la pieza en contraste con el esfuerzo de fluencia.



Resistencia máxima a la tracción: Al sobrepasar el esfuerzo de fluencia, el material se deforma plásticamente y en el caso de que este esté siendo traccionado, comienza a estirarse hasta que en un punto este se rompe. Durante este proceso de deformación, el esfuerzo del material puede aumentar o disminuir en función de la fuerza aplicada y según el comportamiento mecánico del mismo. El máximo valor de esfuerzo obtenido durante la deformación en tracción se define como la resistencia máxima a la tracción, o UTS (ultimate tensile strength). (Kalpakjian & Schmid, 1989).

Ductilidad: Se define como la capacidad de deformación que posee un material, se mide en términos de la deformación plástica sufrida hasta el punto de ruptura sobre el largo inicial de la pieza y se expresa en porcentaje. También se puede medir la reducción del área de la sección transversal de la pieza tractada. (Kalpakjian & Schmid, 1989).

Absorción de energía al impacto: En el desempeño en ciertos rubros, es necesario conocer el comportamiento mecánico de un material cuando la tasa de deformación es alta, por lo que es necesario aplicar el concepto de absorción de energía al impacto, que corresponde a el trabajo efectuado sobre la ruptura de una pieza con determinada área de sección transversal a la fuerza aplicada. (Kalpakjian & Schmid, 1989).

Dureza: Corresponde a la resistencia a la indentación que posee un material, cualitativamente se puede describir como la resistencia al desgaste del mismo. Es una propiedad de interés en aplicaciones en las que se tenga contacto y fricción con materiales que puedan producir un desgaste. (Kalpakjian & Schmid, 1989).

Las propiedades metalúrgicas que se deben conocer son:

Morfología de grano: Los materiales metálicos agrupan átomos en estructuras cristalinas de distintos tipos, estas estructuras se agrupan en grandes cantidades y forman granos. El tamaño y forma del grano tienen una injerencia importante en las propiedades mecánicas del material. Por ejemplo, un tamaño de grano pequeño ofrece una mejor resistencia a la tracción, mientras que un tamaño de grano grande ofrece una mejor resistencia al creep. Por otro lado, granos uniformes en dimensiones en los ejes X, Y y Z, favorecen un comportamiento isotrópico del material, mientras que un grano alargado en uno de los ejes, pudiera buscarse si se quisiera mejorar las propiedades en ese eje, resultando propiedades anisotrópicas del material. (Hibbeler, n.d.).

Porosidad: Corresponde a la fracción de vacío al interior del volumen de estudio.

Ensayos mecánicos y metalúrgicos

Para conocer las propiedades mecánicas descritas se tomaron como referencia las normas ASTM para los distintos ensayos que se describen a continuación.

Ensayo de tracción

Este es un ensayo que consta de someter a esfuerzos de tensión probetas de distintas geometrías. La fuerza de tracción es medida con una celda de carga, y la deformación del material será medida idealmente con un extensómetro, o en caso de que no se cuente con uno, se medirá con las revoluciones del husillo multiplicadas por su paso, asumiendo que la deformación del travesaño que soporta las mordazas es cero. A continuación, se puede ver la geometría de una máquina de tracción y



posteriormente se pueden ver distintas curvas esfuerzo deformación obtenidas tras efectuar este ensayo (ASTM E8/E8M – 15a).

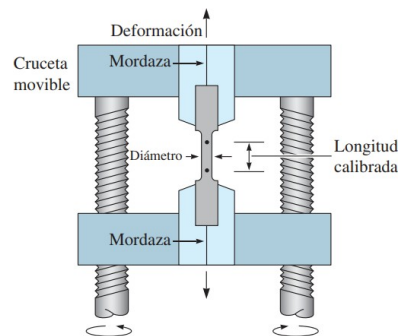


Figura 4: Ilustración de una máquina de tracción estándar. (Kalpakjian & Schmid, 1989.)

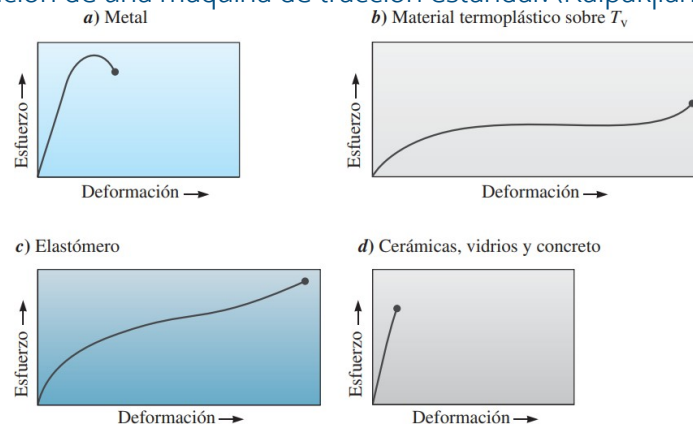


Figura 5: Curvas estándar de esfuerzo vs deformación para distintos materiales. (Kalpakjian & Schmid, 1989.)

Ensayo de impacto

Consiste en someter una probeta a una carga de impacto con cierta energía inicial y cierta energía final. El diferencial de energía sobre el área de la sección que se rompió, nos permite conocer la capacidad de absorción de energía al impacto que posee determinado material (ASTM E23-18).

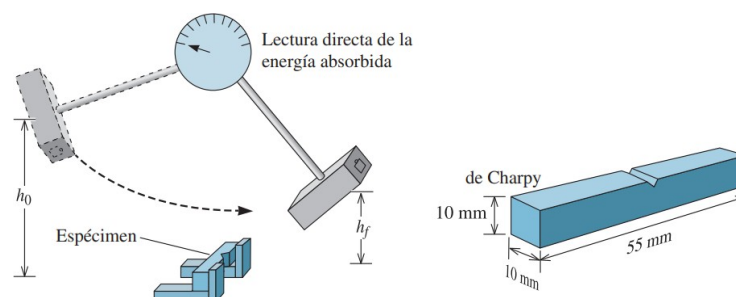


Figura 6: Ilustración del procedimiento de ensayo Charpy con dimensiones de probeta. (Kalpakjian & Schmid, 1989.)

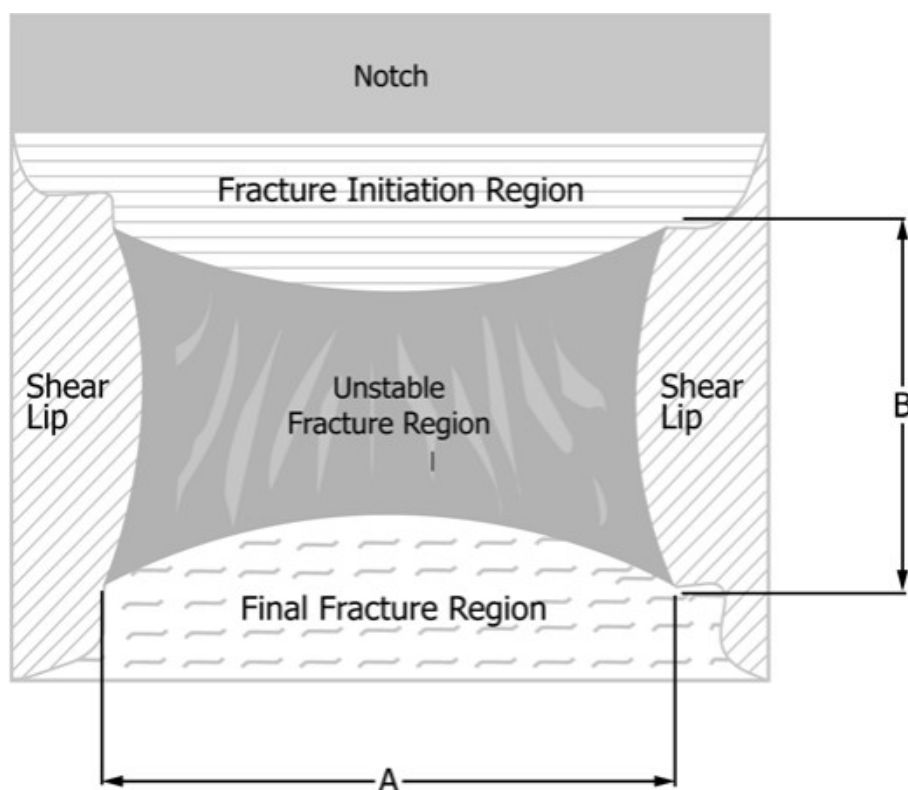


Figura 7: Regiones esperables en la superficie de fractura posterior a un ensayo de impacto. (ASTM E23)

Ensayo de dureza

Consiste en indentar una superficie lisa de un material con algún elemento particularmente definido en composición y geometría, y con una fuerza previamente estipulada. Las dimensiones de la marca que deje esta indentación en la superficie del material, es medida y utilizada en distintas ecuaciones para determinar el parámetro de dureza correspondiente (ASTM E18 – 20).

En este ensayo, la metodología más usada comercialmente es la Brinell, sin embargo y debido a su practicidad la metodología más simple de utilizar es la Rockwell. Existen equivalencias entre escalas estandarizadas, por lo se puede conocer el valor de la misma en otra escala.

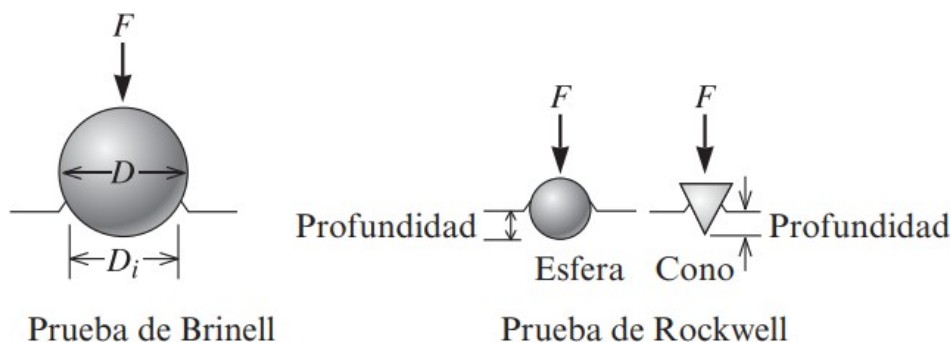


Figura 8: Ilustración del procedimiento de medición de dureza. (Kalpakjian & Schmid, 1989.)

Tabla 1: Tipos de prueba de dureza para distintos materiales. (Kalpakjian & Schmid, 1989.)

Prueba	Penetrador	Carga	Aplicación
De Brinell	Esfera de 10 mm	3000 kg	Hierro colado y acero
De Brinell	Esfera de 10 mm	500 kg	Aleaciones no ferrosas
De Rockwell A	Cono	60 kg	Materiales muy duros
De Rockwell B	Esfera de 1/16 pulg	100 kg	Latón, acero de baja resistencia
De Rockwell C	Cono	150 kg	Acero de alta resistencia
Rockwell D	Cono	100 kg	Acero de alta resistencia
De Rockwell E	Esfera de 1/8 pulg	100 kg	Materiales muy blandos
De Rockwell F	Esfera de 1/16 pulg	60 kg	Aluminio, materiales blandos
De Vickers	Pirámide cuadrada de diamante	10 kg	Todos los materiales
De Knoop	Pirámide alargada de diamante	500 g	Todos los materiales

Metalografía

La metalografía es un procedimiento práctico, en el cual se observan superficies preparadas de metales con un microscopio con el fin de poder observar la microestructura del material de estudio. En este contexto, lo que se busca observar es la porosidad y morfología de grano para poder relacionar estas variables con las propiedades mecánicas obtenidas de los ensayos previamente descritos. A continuación, se muestra un ejemplo de una metalografía realizada a un acero inoxidable.

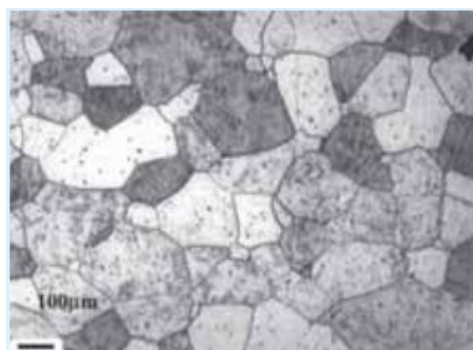


Figura 9: Metalografía de un acero inoxidable. (Askeland y Wright, 2016)

Variables de control para la manufactura aditiva de piezas de acero inoxidable

Las variables de control de los artículos científicos e investigaciones tomadas como referencia para los procesos de impresión, debinding y sinterizado de piezas de acero inoxidable obtenidas mediante manufactura aditiva, para esta investigación son:

Proceso de impresión

Las variables de especial interés en este proceso, para lograr obtener la mejor resolución de impresión, con el menor tiempo empleado posible, son: la temperatura de la cama de impresión, temperatura del extrusor, velocidades de movimiento del extrusor en los tres ejes cartesianos, factor de extrusión, la altura de capa y la superposición de extrusión.



En el estudio llevado a cabo por Timothy Ouradnik el año 2019, se determina de forma experimental la relación de una mayor temperatura del extrusor en función de una menor resistencia al trabamamiento del tornillo del extrusor y un mejor desempeño del mismo en función de una menor cantidad de masa almacenada en el espacio previo al tornillo extrusor. Esto lo dejó reflejado en las siguientes tablas.

Tabla 2: Facilidad de giro en función de la velocidad y la masa en la cámara del tornillo extrusor con una temperatura del extrusor de 180°C. (Ouradnik, 2019)

180C								
Weight (g) vs. Speed (Rev/s)	0,28	0,42	0,56	0,69	0,83	0,97	1,11	1,25
25	P	P	P	P	P	P	P	J
50	P	P	P	P	P	P	P	J
75	P	P	P	P	P	P	P	J
100	P	P	P	P	P	P	P	J
125	P	P	P	P	P	P	P	J
150	P	P	P	P	P	P	P	J
175	P	P	P	P	P	P	J	J
200	P	P	P	P	J	J	J	J
225	P	P	P	P	J	J	J	J
250	P	J	J	J	J	J	J	J

Tabla 3: Facilidad de giro en función de la velocidad y la masa en la cámara del tornillo extrusor con una temperatura del extrusor de 200°C. (Ouradnik, 2019)

200C								
Weight (g) vs. Speed (Rev/s)	0,28	0,42	0,56	0,69	0,83	0,97	1,11	1,25
25	P	P	P	P	P	S	S	S
50	P	P	P	P	P	S	S	S
75	P	P	P	P	P	S	S	S
100	P	P	P	P	P	S	S	S
125	P	P	P	P	P	S	S	S
150	P	P	P	P	P	S	S	S
175	P	P	P	P	S	S	S	J
200	P	P	P	P	S	S	J	J
225	P	P	P	S	S	S	J	J
250	P	P	P	S	J	J	J	J

También se determina la relación entre una mayor velocidad de avance, con una mayor tasa de deposición, por lo que la velocidad máxima de extrusión se presentará como una limitante al momento de seleccionar la velocidad a la que se moverá el extrusor.

Alfons Riera (2020), utilizó como referencia de base los parámetros citados anteriormente, y al trabajar con el mismo equipo de impresión, lo que hizo fue ajustar las variables de impresión para obtener mejores resultados que su antecesor.



En una revisión bibliográfica (Nurhudan et al., 2021), se reunieron variables de impresión de 6 investigaciones, que indican en base a experiencias empíricas temperaturas y velocidades que se pueden adoptar en este proceso de manufactura.

Tabla 4: Parámetros de impresión. (Nurhudan et al., 2021; Ouradnik, 2019; Riera, 2020)

Referencia	T del extrusor °C	T de la cama °C	Diámetro de la boquilla mm	Altura de capa mm	Ancho de impresión mm	Factor de extrusión	Velocidad de impresión mm/s	Superposición %
Ouradnik, 2019	180-200	60-120	0,8	0,2	>0,8	-	5-15	-
Riera, 2020	190	105	0,8	0,2	>0,8	12	10	50
Nurhudan et al, 2021	235	100	0,6	0,2	-	1,75	60	-
Nurhudan et al, 2021	250	-	0,6	0,2	-	1,25	-	-
Nurhudan et al, 2021	230	90	0,4	0,2	-	-	30	-
Nurhudan et al, 2021	295	120	0,4	-	-	-	250	-
Nurhudan et al, 2021	190-210	60	0,4	0,1	-	-	50	-
Nurhudan et al, 2021	-	-	2	2	-	-	-	-

Los principales defectos encontrados durante el proceso de impresión, fue encontrar zonas sin material, extrusión pobre y una mala o nula adhesión entre caminos de extrusión.

Debinding

Para este proceso, las variables que se manejan son el ambiente en el que se efectúa la remoción del aditivo, la temperatura y el tiempo que se define para llevar esto a cabo. A continuación, se muestran parámetros obtenidos de distintas investigaciones.



Tabla 5: parámetros utilizados en el proceso debinding primario y secundario. (Nurhudan et al., 2021; Ouradnik, 2019; Riera, 2020)

Referencia	Primer debinding			Segundo debinding		
	Medio	Temperatura °C	Tiempo h	Medio	Temperatura °C	Tiempo h
Ouradnik, 2019	Agua	60	2,5/mm	Argón	600	2
Ouradnik, 2019	Agua	60	3,33/mm	Argón	600	2
Riera, 2020	Agua	60	2,5/mm	Argón	600	2
Nurhudan et al, 2021	Ciclohexano	70	-	-	-	-
Nurhudan et al, 2021	Ciclohexano	65	24	Vacío	374-750	1,5
Nurhudan et al, 2021	Nitrógeno	120	8	-	-	-
Nurhudan et al, 2021	Acetona	60	24	-	40	6
Nurhudan et al, 2021	Agua	-	-	-	-	-

Los cambios en el ambiente de debinding, se deben a la composición química del aditivo utilizado para aglomerar las partículas de polvo metálicas. De la misma forma se varía el tiempo en este proceso en función de como interactúa el aditivo con el medio. Pese a que el conocimiento teórico de estas variables es conocido, en las investigaciones citadas se han tenido que llevar a cabo ajustes experimentales para llegar a estos resultados.

Sinterización

Las distintas temperaturas atmosféricas y tiempos de exposición utilizadas se presentan como referencia para escoger las variables del proceso propio de sinterización. Cabe destacar que para este efecto, el tipo de material de trabajo es de suma importancia, ya que la temperatura a la que se efectúa el proceso de sinterización debe ser de una fracción cercana al 90% de la temperatura de fusión del mismo.



Tabla 6: Parámetros de sinterización. (Nurhudan et al., 2021; Ouradnik, 2019; Riera, 2020)

Referencia	Atmósfera	Temperatura °C	Tiempo h	Material
Ouradnik, 2019	Argón	1360	2	316L
Ouradnik, 2019	Argón	1380	3	316L
Riera, 2020	Argón	1380	3	316L
Nurhudan et al, 2021	Hidrógeno	1380	5	17-4PH
Nurhudan et al, 2021	Vacio	1360	2	316L
Nurhudan et al, 2021	Argón	1360	2	316L
Nurhudan et al, 2021	Argón	1340	1,5	Ti-6Al- 4V
Nurhudan et al, 2021	Aire	1300	4	TiO ₂

El método de manufactura aditiva Binder Jetting, tiene un principio de funcionamiento similar, y particularmente para este punto, en ambos métodos se encuentran partículas de polvo metálicas levemente unidas y no compactadas listas para ser sinterizadas. Un estudio efectuado para un tiempo fijo de dos horas y temperaturas variables, mostró el efecto de la temperatura en variables como el tamaño de grano y la porosidad (Jamalkhani et al., 2022).

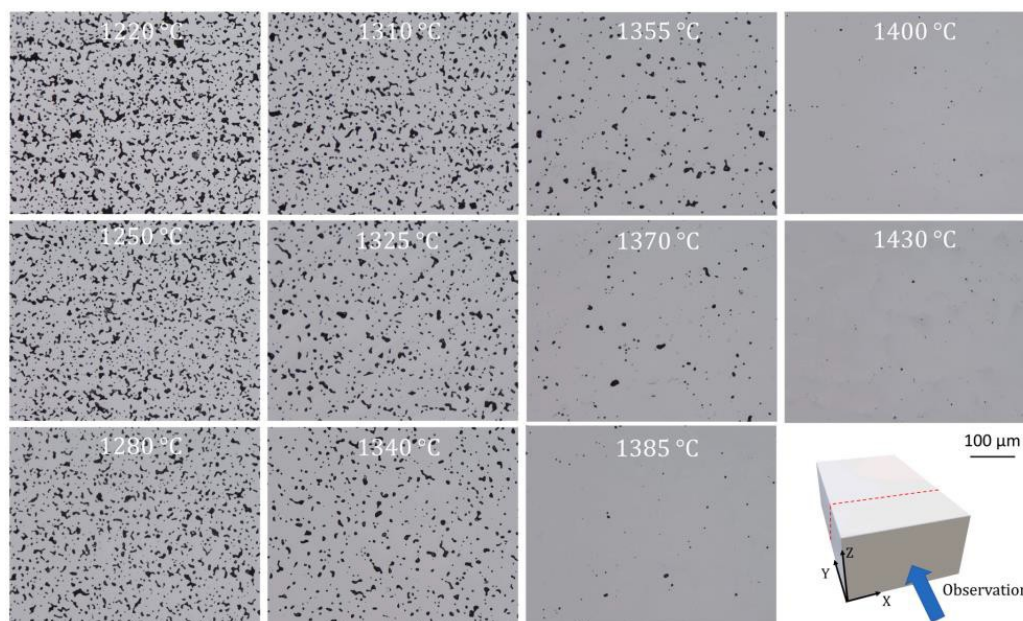


Figura 10: Micrografía del área de la sección transversal de piezas de acero 316 L sinterizadas a distintas temperaturas. (Jamalkhani et al., 2022)

Procedimiento experimental

Equipos y Materiales

Para el desarrollo de esta investigación se utilizarán pellets de acero AISI 316L que presenta la siguiente composición química.

Tabla7: Composición química del acero AISI 316L. (Ouradnik, 2019)

Wt. %	Fe	C	Ni	Cr	Mo	Mn	Si	S	P
Min.	-	-	10,0	16,0	2,0	-	-	-	-
Max.	Bal.	0,03	14,0	18,5	3,0	2,0	1,0	0,03	0,045

Los pellets están compuestos en un 80% de partículas del acero mencionado y un 20% de aditivos que contienen principalmente un polímero denominado polyethylene glycol (PEG) (Ouradnik, 2019).

Este acero inoxidable de la serie 300, se caracteriza por poseer buenas propiedades de resistencia a la corrosión, resistencia a la fatiga, resistencia a la oxidación, endurecimiento por deformación y buena formabilidad. Es por esto que se han encontrado usos en ingeniería naval, aplicaciones médicas,

preparación de comidas y almacenamiento de líquidos, ya que además de sus buenas propiedades para estos efectos, presenta una buena relación costo beneficio relativa a otras opciones de aleaciones. (Singh et al., 2017).

El equipo utilizado para esta investigación, es una impresora Ender 3 de la empresa Creality, de adquisición comercial.

Este equipo fue modificado al cambiar el extrusor original, que estaba destinado a procesar filamentos de polímeros, por uno especializado en la extrusión de pellets. El funcionamiento del extrusor nuevo en conjunto con el software de la impresora mostró ser compatible en el proceso de impresión guardando consideraciones que serán detalladas en la sección correspondiente.



Figura 11: Fotografía de la impresora Ender 3 (a), extrusor de pellets instalado (b) y su montaje (c).
(Elaboración propia)

Los motores que mueven el extrusor en los ejes X y Z, la cama de impresión en el eje Y y el motor encargado del tornillo extrusor, son motores paso a paso. Son alimentados de corriente continua y su principio de funcionamiento es mediante un sistema de control, alimentar de forma alternada dos juegos de bobinas ubicadas en el estator para producir un movimiento de $1,8^\circ$ en cada cambio de alimentación. La pérdida de paso de estos motores se debe a que el torque que se demanda en el giro supera el torque del motor, este es un problema que se mencionará más adelante particularmente para el motor del extrusor.

El Software utilizado para transformar al archivo STL en G-Code, es el programa de fuente abierta PrusaSlicer, se seleccionó este por ser el que se utilizó en las investigaciones de Ouradnik y Riera los años 2019 y 2020, respectivamente.

Proceso de impresión

Para la primera aproximación de ajuste de variables de impresión, se hicieron pruebas en el extrusor de pellets, variando la temperatura del extrusor en 5°C desde 180°C hasta la temperatura límite de la impresora correspondiente a 255°C . Como resultado experimental, una mayor temperatura favoreció un mejor flujo de material por el extrusor, encontrando un punto de estancamiento a los 240°C , fijándose esta como temperatura de extrusión.



Con el fin de obtener identificar la mejor boquilla para el extrusor y una velocidad de impresión adecuada a los materiales utilizados, se hicieron pruebas de impresión, comenzando con una boquilla de extrusión de 0,8 mm de diámetro. El objeto creado corresponde a un cubo de 10 mm de arista, con una altura de capa de 0,2 mm correspondiente al valor más frecuente en las investigaciones anteriormente citadas, y una velocidad de impresión de 30 mm/s, un factor de extrusión de 175%, una superposición de un 50% en los caminos de impresión y un ancho de 0,6 mm correspondiente a $\frac{3}{4}$ del diámetro de la boquilla para asegurar que el material alcance todos los espacios sin dejar lugares con falta de material.

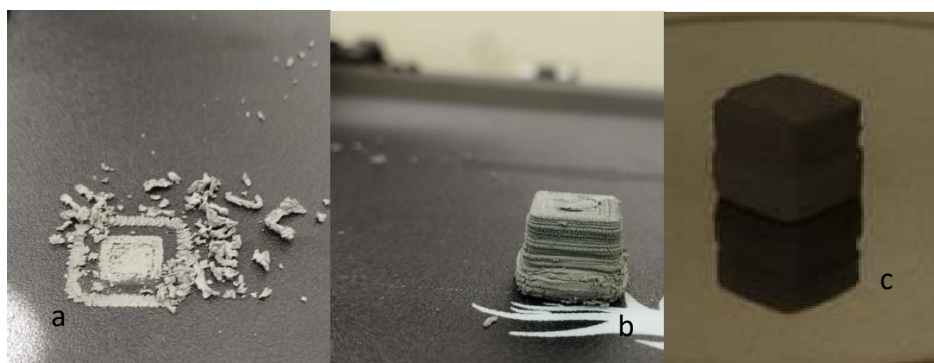


Figura 12: Fotografías de distintas iteraciones de impresión de cubos. a) Tercera iteración. b) Séptima iteración. c) Décima iteración

Luego de 10 iteraciones, se observó que la velocidad de impresión debía ser de 2,5 mm/s, y que para favorecer el flujo de material sin tener que disminuir la velocidad, la boquilla debía ser de un diámetro mayor, cambiándose por una de 1,2 mm de diámetro. El aumento del diámetro de la boquilla mejora la velocidad de impresión y el flujo de la materia prima, a expensas de una menor resolución de las piezas impresas en el plano horizontal (X,Y).

Terminado el proceso de calibración de las primeras variables, se midieron los cubos impresos para verificar el nivel de concordancia de las dimensiones de las piezas impresas en relación a los archivos STL utilizados para alimentar de información al software, encontrando una resolución en el eje Z de un 99,4% para los 10 mm nominales. Los ejes X e Y presentaron costados irregulares fuera de dimensión nominal esperada.



Figura 13: Medición de altura de la décima iteración de impresión de cubos. (Elaboración propia)

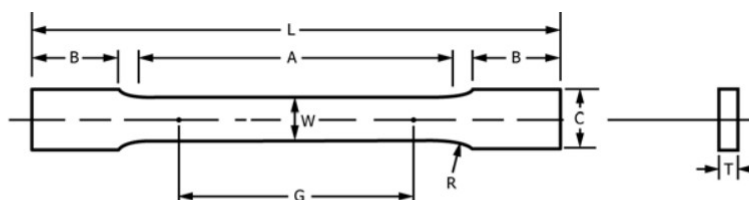


De los ajustes llevados a cabo, se concluyen los siguientes valores para las variables de impresión.

Tabla 8: Parámetros de patrón de llenado seleccionados para la primera impresión de probeta de tracción. (Elaboración propia)

T del extrusor °C	T de la cama °C	Diámetro de la boquilla mm	Altura de capa mm	Ancho de impresión mm	Factor de extrusión	Velocidad de impresión mm/s	Superposición %
240	100	1,2	0,2	0,9	175%	2,5	50

Con este ajuste de variables se efectuó la impresión de la primera probeta de tracción bajo las dimensiones de una probeta de tamaño reducido normada por ASTM E8, considerando un 17% de sobredimensión en función de experiencias previas por el encogimiento que sufren las piezas en el proceso de sinterización.



	Dimensions		
	Standard Specimens		Subsize Specimen
	Plate-Type, 40 mm [1.500 in.] Wide	Sheet-Type, 12.5 mm [0.500 in.] Wide	6 mm [0.250 in.] Wide
	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]
G—Gauge length (Note 1 and Note 2)	200.0 ± 0.2 [8.00 ± 0.01]	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	25.0 ± 0.1 [1.000 ± 0.003]
W—Width (Note 3 and Note 4)	40.0 ± 2.0 [1.500 ± 0.125, -0.250]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]
T—Thickness (Note 5)		thickness of material	
R—Radius of fillet, min (Note 6)	25 [1]	12.5 [0.500]	6 [0.250]
L—Overall length, min (Note 2, Note 7, and Note 8)	450 [18]	200 [8]	100 [4]
A—Length of reduced section, min	225 [9]	57 [2.25]	32 [1.25]
B—Length of grip section, min (Note 9)	75 [3]	50 [2]	30 [1.25]
C—Width of grip section, approximate (Note 4 and Note 9)	50 [2]	20 [0.750]	10 [0.375]

Figura 14: Dimensiones normadas de probetas de tracción. (ASTM E8)

Terminada la impresión de la primera probeta se identificaron tres problemas relacionados a la extrusión de material:

La altura de capa, que al ser de 0,2 mm, fuerza el motor del extrusor para que este pueda depositar el material en la cama de impresión; una sobreextrusión de material, lo que se consideró positivo ya que no quedaron espacios vacíos de material en el cruce de los caminos de impresión, por lo que posteriormente se evitarían concentradores de tensión generados por esta falta de material, aun que se genera pérdida de material hacia los costados de la pieza impresa, por lo que se buscó disminuir el flujo de material para



controlar este efecto; pérdida de paso del motor, por lo que se debió ajustar desde la impresora y durante el proceso de impresión una reducción de velocidad al 50% de la nominal.

La solución a estos problemas fue aumentar la altura de capa a 0,3 mm, la disminución de velocidad a 2 mm/s y la disminución en un 5% del factor de extrusión.

Tabla 9: Parámetros de patrón de llenado seleccionados para la segunda impresión de probeta de tracción. (Elaboración propia)

T del extrusor °C	T de la cama °C	Diámetro de la boquilla mm	Altura de capa mm	Ancho de impresión mm	Factor de extrusión	Velocidad de impresión mm/s	Superposición %
240	100	1,2	0,3	0,9	170%	2,0	50

Con estas variables se llevó a cabo la impresión de la segunda probeta de tracción con las mismas dimensiones de la anterior.

En la segunda impresión se observó una disminución de la sobreextrusión de material, sin embargo, aún hubo pérdida de material hacia los costados, y en la primera capa se observó una pérdida de paso del motor extrusor debido a la altura de capa que limita la salida del material. Por lo anterior, se aumento la altura de capa a 0,4 mm y disminuyó el factor de extrusión en un 10%, ya que el 5% variado en la iteración anterior mostró tener un bajo efecto en este problema.

Tabla 10: Parámetros de patrón de llenado seleccionados para la tercera impresión de probeta de tracción. (Elaboración propia)

T del extrusor °C	T de la cama °C	Diámetro de la boquilla mm	Altura de capa mm	Ancho de impresión mm	Factor de extrusión	Velocidad de impresión mm/s	Superposición %
240	100	1,2	0,4	0,9	160%	2,0	50

Con esta configuración de variables se lleva a cabo una tercera impresión, encontrando mejores resultados en lo referente a la sobreextrusión y no observando pérdidas de paso en el motor extrusor.



Figura 15: Fotografía de la probeta de tracción N° 1, N° 2 y N°3. (Elaboración propia)

Para medir la capacidad de absorción de energía del material obtenido con este método de manufactura, se imprimieron dos probetas de impacto Charpy con dimensiones acorde a la norma ASTM E23. La primera probeta se confeccionó utilizando los ajustes de variable de la probeta N°2 de tracción y la segunda probeta de impacto con los ajustes de la probeta N°3 de tracción.

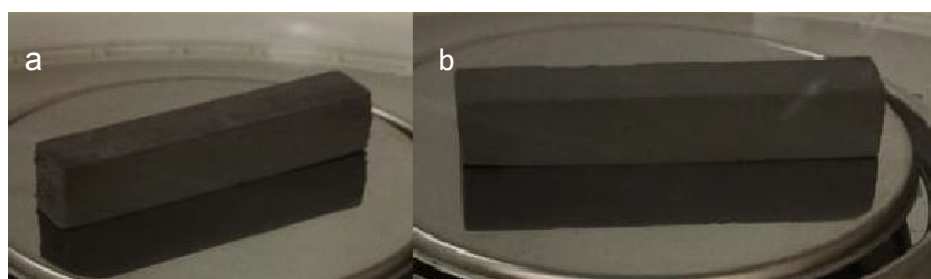


Figura 16: Fotografía de probetas de impacto en verde. a) Probeta de impacto N1. b) Probeta de impacto N2. (Elaboración propia)

Tal como se observó en el proceso de impresión de la probeta de tracción N°2, hubo pérdida de paso en la confección de la probeta de impacto, lo que originó zonas con falta de material. Mientras que la probeta de impacto N°2, con los ajustes de la probeta de tracción N°3, tuvo un flujo homogéneo de material.

Proceso de debinding

La remoción del aditivo del material, fue recopilado de las experiencias en la investigación de Ouradnik el año 2019. El proceso fue llevado a cabo en un ambiente de agua destilada a 60°C, considerando 3 horas de exposición por cada milímetro de espesor de la pieza en el primer debinding. Posteriormente, las piezas fueron llevadas a un horno de secado a 100°C con ventilación forzada para remover la totalidad del agua infiltrada en la porosidad de las piezas.



El debinding termal, se llevó a cabo considerando una parada previa de 30 minutos a los 500°C, temperatura en la que el aditivo comienza a emanar gases, con el fin de evitar que el aumento de temperatura sin escalas produzca una ruptura del material.

Tabla 11: Parámetros seleccionados para los procesos de debinding primario y secundario. (Elaboración propia)

Primer debinding			Segundo debinding		
Medio	Temperatura °C	Tiempo h	Medio	Temperatura °C	Tiempo h
Agua	60	3/mm	Argón	500 ; 600	0,5 ; 1,5

La escalada de temperatura desde 25°C hasta 500°C, y de 500°C hasta 600°C, se efectuó con una tasa de 3°C/min, de acuerdo a lo señalado en la investigación de Riera

Proceso de sinterización

Con el fin de obtener las mejores propiedades mecánicas posibles, se efectuó un proceso de sinterización a 1400°C durante 2 horas (Jamalkhani et al., 2022; Mirzababaei et al., 2022), con una tasa de aumento de temperatura de 5°C, que corresponde al valor máximo que puede tomar esta variable en el horno tubular de atmósfera controlada utilizado en la investigación.

Tabla 12: Parámetros seleccionados para el proceso de sinterización.

Atmósfera	Temperatura °C	Tiempo h	Material
Argón	1400	2	316L

Se puede observar en la superficie de las probetas un color negro, que se atribuye a la carbonización del aditivo que permaneció en la superficie de las probetas.

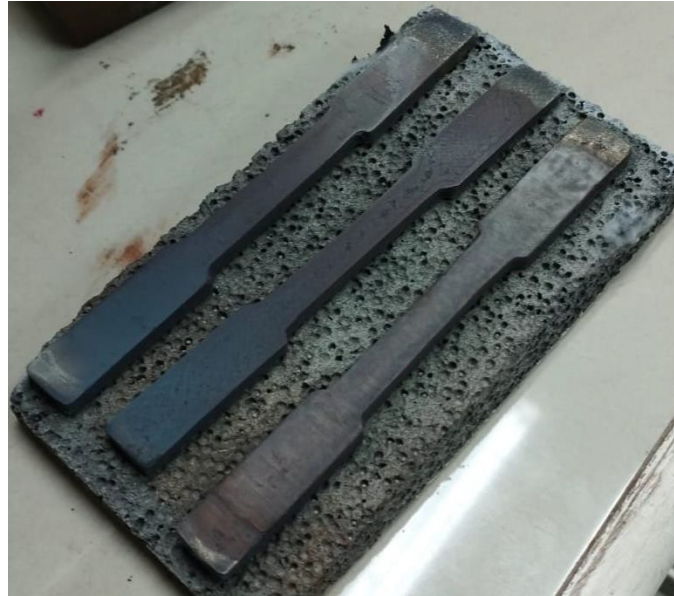


Figura 17: Fotografía de probetas de tracción recién sinterizadas. (Elaboración propia)

En el proceso de sinterización de las probetas de impacto, se pudo observar una capa superficial oxidada, que responde a un deficiente flujo de argón.



Figura 18: Fotografía de probetas de impacto recién sinterizadas. (Elaboración propia)

La probeta de impacto N°1 sufrió deformación en la sinterización. Este efecto se alude a la falta de material producido por las variables escogidas en el patrón de llenado de la pieza.

Ensayos mecánicos

Para obtener resultados legibles del material, es necesario efectuar un post procesado en busca de eliminar concentradores de tensión que puedan afectar los ensayos mecánicos. Con este motivo, se pulieron las piezas impresas hasta remover el material carbonizado en la superficie y la capa de óxido producida por el bajo flujo de argón.



Figura 19: Probeta de tracción pulida y preparada para efectuar ensayo de tracción. (Elaboración propia)

Las probetas de tracción se ensayaron a una tasa de deformación unitaria de 0,0001/s obteniendo los siguientes resultados en términos de Fuerza aplicada vs recorrido estándar

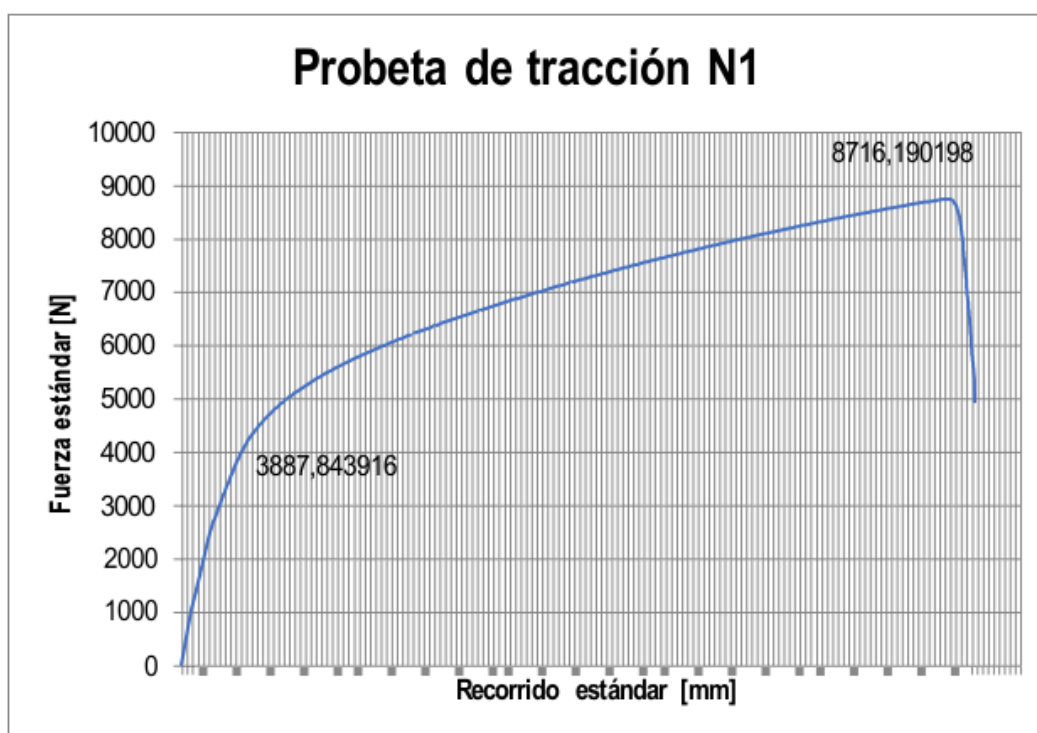


Figura 27: Curva Fuerza / Recorrido estándar resultante del ensayo de tracción de la probeta N1. (Elaboración propia)

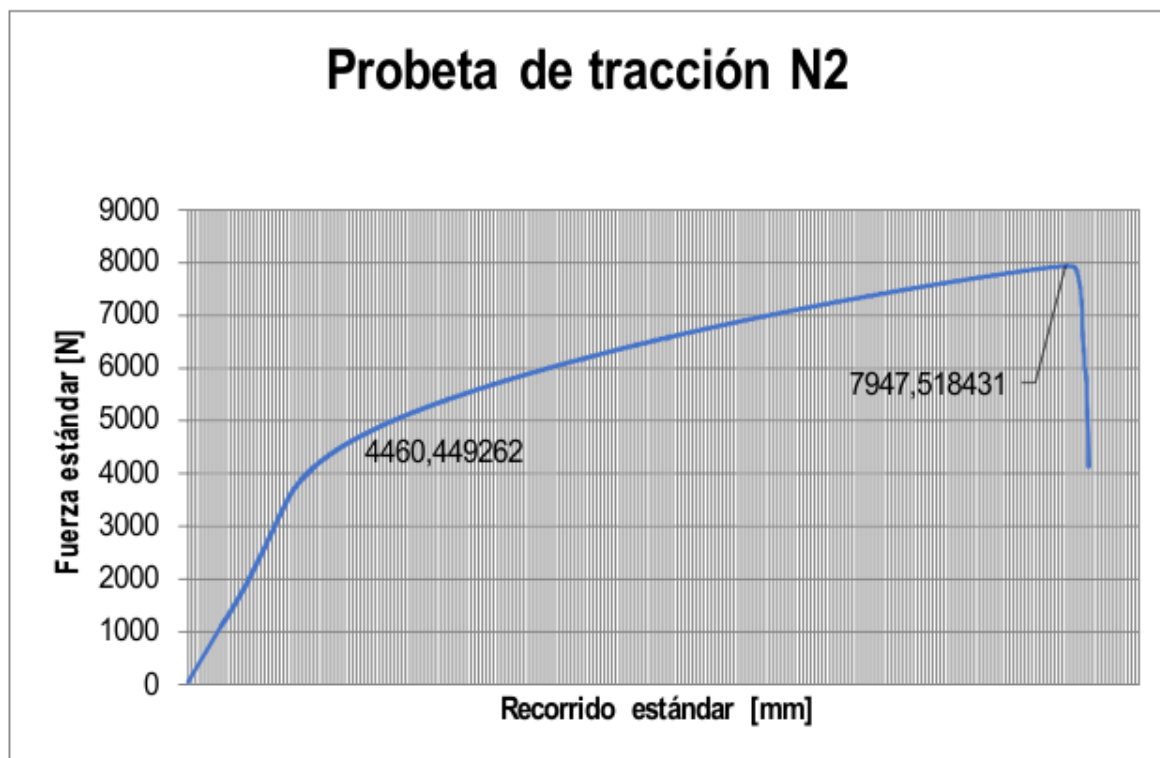


Figura 28: Curva Fuerza / Recorrido estándar resultante del ensayo de tracción de la probeta N2.
(Elaboración propia)

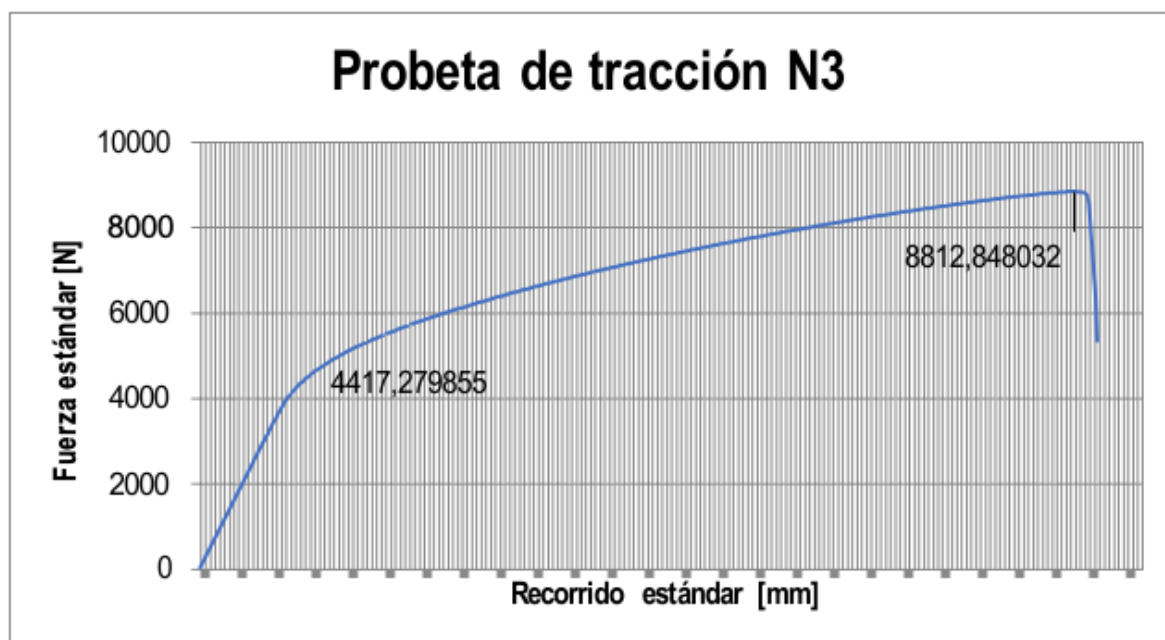


Figura 29: Curva Fuerza / Recorrido estándar resultante del ensayo de tracción de la probeta N3.
(Elaboración propia)



Para traducir la fuerza a esfuerzo, es necesario dividir la fuerza aplicada en el momento que se alcanzó el límite de fluencia y la máxima fuerza de tracción entre el área de la sección transversal de cada probeta, para obtener los valores de esfuerzo de fluencia y resistencia máxima a la tracción respectivamente. El porcentaje de alargamiento se obtiene al dividir la diferencia del largo inicial y largo final entre el largo inicial.

Tabla 13: Dimensiones de las probetas de tracción N1, N2 y N3. (Elaboración propia)

Probeta de tracción	Ancho mm	Espesor mm	Área de la sección transversal	Largo inicial	Largo final
Nº1	7,42	3,43	25,4506	29,77	34,41
Nº2	6,43	3,39	21,80	30,88	36,95
Nº3	6,96	3,54	24,64	29,44	37,23

Tabla 14: Cuadro resumen de propiedades mecánicas obtenidas en el ensayo de tracción. (Elaboración propia)

Probeta de tracción	Esfuerzo de fluencia MPa	Resistencia máxima a la tracción MPa	% de alargamiento
Nº1	152,76	342,48	15,6%
Nº2	204,62	364,61	19,7%
Nº3	179,27	357,68	26,5%

Las probetas de impacto se ensayaron en un Péndulo Charpy de 8 mm, obteniendo resultados no válidos en lo cuantitativo. La norma ASTM E23 indica que para que un resultado sea válido, no se puede estar en el rango inferior ni superior de la lectura de absorción de energía del péndulo. En el caso del péndulo utilizado el valor mínimo legible de absorción de energía corresponde a 6,25 J, valor que se encuentra por sobre los 2,25 J y 3 J obtenidos para las probetas de impacto Nº1 y Nº2, respectivamente.

Si bien estos resultados no son válidos en términos numéricos, si responden a lo esperable en función del manejo de las variables del patrón de llenado, ya que para el caso de la probeta Nº1 de impacto, se observó deficiencia de extrusión debido a la pérdida de paso del motor extrusor, mientras que la probeta de impacto Nº2 no tuvo este problema, ya que su confección fue con un flujo homogéneo de material. Esto se puede observar de buena forma en la comparación de las superficies de fractura de ambas probetas, donde la probeta Nº1 que presentó una extrusión pobre, presenta separación de las capas de impresión, mientras que la probeta Nº2, presenta una región homogénea de material. Además, es posible afirmar en ambos casos que el 100 % del área de fractura corresponde a una región inestable, característica desfavorable en cuanto a la propiedad de absorción de energía al impacto.

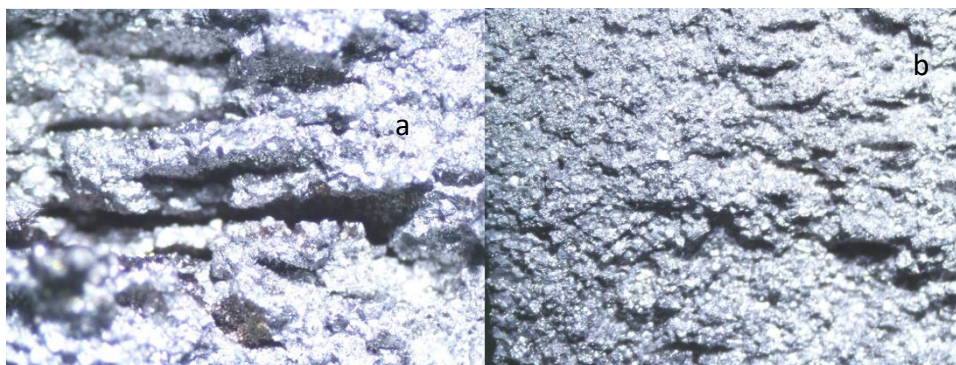


Figura 20: superficies de fractura de las probetas de impacto. a) Probeta de impacto N°1. b) Probeta de impacto N°2. (Elaboración propia)

Las mediciones de dureza fueron tomadas a las mordazas de las probetas de tracción y a las zonas no deformadas de las probetas de impacto Charpy, obteniendo los siguientes resultados en la escala b de medición de dureza con la metodología Rockwell.

Tabla 15: Resultados de durezas promedio en mordazas de probetas de tracción y zonas sin deformación de probetas de impacto. (Elaboración propia)

Probeta	Valor promedio HRb
Tracción	53,5
Impacto	69,68

Metalografía

La metalografía fue tomada a los dos últimos cubos de impresión experimental ya que estos, no importando las variables del patrón de llenado, muestran la microestructura del material obtenido mediante el proceso completo de manufactura utilizando el modelado por deposición fundida.

La porosidad del material se caracterizó observando el área de sección pulida y atacada con agentes corrosivos, de uno de los cubos impresos en el proceso de ajuste de variables iniciales, utilizando un software de post-procesado de imágenes, se midió el diámetro las 185 porosidades presentadas y la suma de las áreas correspondientes se dividió entre la superficie total de la imagen.

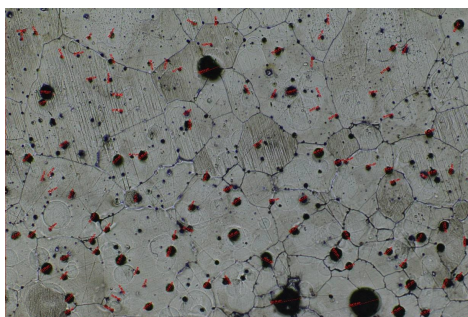


Figura 21: Porosidad observada en micrografía a escala 500X tomada a piezas de acero AISI 316L obtenidas durante el ajuste experimental de variables del patrón de llenado. (Elaboración propia)



Tabla 16: Resumen de resultados de porosidad. (Elaboración propia)

área total poros μm^2	272366,2
área total micrografía μm^2	5174890,5
porosidad superficial	5,26%

Siguiendo la metodología de medición utilizando el software de post-procesado de imágenes, se midieron 45 tamaños de grano, resultando tener un diámetro promedio de $23,41\mu\text{m}$, lo que concuerda con el tamaño de grano promedio obtenido en sinterizaciones previas a 1400°C por 2 horas (Jamalkhani et al., 2022).

Conclusión

En Ingeniería, uno de los parámetros más relevantes es el esfuerzo de fluencia, ya que comúnmente se trabaja en el rango elástico del material, considerando esto, se han identificado dos posibles pautas de trabajo con las que se podrían confeccionar repuestos para la Armada de Chile, ya que el resultado de los materiales obtenidos con estas, se encuentra por sobre los 170 MPa que exige como esfuerzo de fluencia mínimo la norma de AISI sobre las propiedades mecánicas del acero inoxidable 316L. Estas pautas de trabajo constan en seleccionar las variables de patrón de llenado para el proceso de impresión, para el proceso de debinding y para el proceso de sinterización.

Es fundamental tener en consideración que la función que vaya a desempeñar la pieza impresa, debe concordar con las propiedades de dureza y de absorción de energía al impacto del material.

La propiedad de dureza del material se ve en directa disminución debido a la porosidad presentada en el mismo.

El efecto de las variables del patrón de llenado será relevante en la microestructura del material, únicamente cuando hayan defectos en la extrusión y se generen concentradores de tensión en la pieza impresa.

Con los resultados obtenidos a partir de la confección de piezas de acero inoxidable de la serie 300 elaboradas mediante modelado por deposición fundida, el análisis de las propiedades mecánicas y metalúrgicas, y los efectos del patrón de llenado o variables de impresión sobre estas, es posible concluir que:

Las variables del patrón deben lograr una extrusión controlada en la deposición de cada capa, evitando que en estas se genere un vacío de material, ya que esto afecta las propiedades mecánicas y la geometría final, afectando particularmente en el proceso de sinterización, donde estos sectores provocarán una deformación de la pieza impresa.

La altura de capa debe permitir un buen flujo de materia prima ya que, de lo contrario el motor extrusor pierde pasos, generando vacíos de material.

La velocidad de impresión está limitada por la capacidad de extrusión de material, ya que los motores de los ejes coordinados pueden alcanzar velocidades superiores a los 100 mm/s, mientras que la velocidad



utilizada debe ser inferior a 2,5 mm/s, para que el motor del extrusor no sobrepase su capacidad de torque en la deposición de material.

Contar con una leve sobreextrusión y con una sobreposición de un 50% en el proceso de impresión, favorece propiedades isotrópicas del material ya que, las costuras de intercepción de los caminos de impresión, se disipan cuando la boquilla caliente del extrusor pasa por sobre estas homogeneizando la capa impresa.

Una altura de capa mayor, mostró presentar una mejor ductilidad y una leve disminución en el esfuerzo de fluencia y resistencia máxima a la tracción.

Referencias bibliográficas

American, A., & Standard, N. (n.d.). Designation: E23 – 18 Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials 1. <https://doi.org/10.1520/E0023-18>

Ansari, M., Jabari, E., & Toyserkani, E. (2021). Opportunities and challenges in additive manufacturing of functionally graded metallic materials via powder-fed laser directed energy deposition: A review. In *Journal of Materials Processing Technology* (Vol. 294). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2021.117117>

Busachi, A., Erkoyuncu, J., Colegrove, P., Martina, F., Watts, C., & Drake, R. (2017). A review of Additive Manufacturing technology and Cost Estimation techniques for the defence sector. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 19, 117–128. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2017.07.001>

Daniel, P. (2021). *Backyard Hobby Metal Casting: A Complete Starter Guide to Building a Cheap Foundry and Starting to Melt and Cast Metals*.

Designation: E8/E8M – 15a Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials 1. (n.d.). <https://doi.org/10.1520/E0008-E0008M-15A>

Designation: E18 – 20 Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials 1,2. (n.d.). <https://doi.org/10.1520/E0018-20>

Fan, J., Zhang, L., Wei, S., Zhang, Z., Choi, S. K., Song, B., & Shi, Y. (2021). A review of additive manufacturing of metamaterials and developing trends. In *Materials Today* (Vol. 50, pp. 303–328). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2021.04.019>

Fu, Y., Downey, A., Yuan, L., Pratt, A., & Balogun, Y. (2021). In situ monitoring for fused filament fabrication process: A review. In *Additive Manufacturing* (Vol. 38). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101749>

Ghanavati, R., & Naffakh-Moosavy, H. (2021). Additive manufacturing of functionally graded metallic materials: A review of experimental and numerical studies. In *Journal of Materials Research and Technology* (Vol. 13, pp. 1628–1664). Elsevier Editora Ltda. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.05.022>

Guerrero, O. E. (n.d.). PROCESOS DE MANUFACTURA.

Hibbeler, R. C. (n.d.). MECÁNICA DE MATERIALES. Sexta edición. www.pearsoneducacion.net

Jamalkhani, M., Asherloo, M., Gurlekce, O., Ho, I.-T., Heim, M., Nelson, D., & Mostafaei, A. (2022). Deciphering microstructure-defect-property relationships of vacuum-sintered binder jetted fine 316 L austenitic stainless steel powder. *Additive Manufacturing*, 59, 103133. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2022.103133>

Kalpajian, S., & Schmid, S. R. (n.d.). ManufacturA, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ManufacturA, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUINTA EDICIÓN QUINTA EDICIÓN. www.pearsoneducacion.net/kalpajian

Khanna, N., Zadafiya, K., Patel, T., Kaynak, Y., Rahman Rashid, R. A., & Vafadar, A. (2021). Review on machining of additively manufactured nickel and titanium alloys. In *Journal of Materials Research and Technology* (Vol. 15, pp. 3192–3221). Elsevier Editora Ltda. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.09.088>

Kumar, R., Kumar, M., & Chohan, J. S. (2021). The role of additive manufacturing for biomedical applications: A critical review. In *Journal of Manufacturing Processes* (Vol. 64, pp. 828–850). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.02.022>



- Lin, Z., Song, K., & Yu, X. (2021). A review on wire and arc additive manufacturing of titanium alloy. In *Journal of Manufacturing Processes* (Vol. 70, pp. 24–45) Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.08.018>
- Liu, B., Wang, Y., Lin, Z., & Zhang, T. (2020). Creating metal parts by Fused Deposition Modeling and Sintering. *Materials Letters*, 263. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2019.127252>
- Meena, V. K., Kumar, P., Kalra, P., & Sinha, R. K. (2021). Additive manufacturing for metallic spinal implants: A systematic review. *Annals of 3D Printed Medicine*, 3, 100021. <https://doi.org/10.1016/j.stlm.2021.100021>
- Mirzababaei, S., Paul, B. K., & Pasebani, S. (2022). Microstructure- property relationship in binder jet produced and vacuum sintered 316 L. *Additive Manufacturing*, 53. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2022.102720>
- Nurhudan, A. I., Supriadi, S., Whulanza, Y., & Saragih, A. S. (2021). Additive manufacturing of metallic based on extrusion process: A review. In *Journal of Manufacturing Processes* (Vol. 66, pp. 228–237). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.04.018>
- Ouradnik, T. (2019). MANUFACTURING AND CHARACTERIZATION OF COMPONENTS PRODUCED VIA FUSED DEPOSITION MODELING (FDM) UTILIZING METAL INJECTION MOLDING (MIM) FEEDSTOCK WITH A FOCUS ON STEEL ALLOY 316L.
- Paolini, A., Kollmannsberger, S., & Rank, E. (2019). Additive manufacturing in construction: A review on processes, applications, and digital planning methods. In *Additive Manufacturing* (Vol. 30). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.100894>
- Pattanayak, S., & Sahoo, S. K. (2021). Gas metal arc welding based additive manufacturing—a review. In *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* (Vol. 33, pp. 398–442). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2021.04.010>
- Riera Brell, A. (n.d.). Impressió 3D de metalls Estudi de la tècnica de MEAM utilitzant pellets de MIM aplicada a productes comercials.
- Singh, S., Ramakrishna, S., & Singh, R. (2017). Material issues in additive manufacturing: A review. In *Journal of Manufacturing Processes* (Vol. 25, pp. 185–200). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2016.11.006>
- Wankhede, V., Jagetiya, D., Joshi, A., & Chaudhari, R. (2019). Experimental investigation of FDM process parameters using Taguchi analysis. *Materials Today: Proceedings*, 27, 2117–2120. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.09.078>
- Wong, K. v., & Hernandez, A. (2012). A Review of Additive Manufacturing. *ISRN Mechanical Engineering*, 2012, 1–10. <https://doi.org/10.5402/2012/208760>
- ZHU, J., ZHOU, H., WANG, C., ZHOU, L., YUAN, S., & ZHANG, W. (2021). A review of topology optimization for additive manufacturing: Status and challenges. In *Chinese Journal of Aeronautics* (Vol. 34, Issue 1, pp. 91–110). Chinese Journal of Aeronautics. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2020.09.020>



Crecimiento económico y bienestar

PC. Carlos Vidal Stuardo
carlos.vidal@apolinav.cl

Resumen

La productividad representa según Robert Solow, el principal factor impulsor de un crecimiento económico que contribuye de manera sostenida en el tiempo, a incrementar el producto per cápita y con ello el bienestar social de la población, pero que en nuestro país en la última década, ha presentado una tendencia decreciente, asumiendo incluso tasas de variación negativas. Para estimularla, es clave la inversión en I+D+i+e+E, cuyo porcentaje del PIB en nuestro país, es apenas un 17% de la que realizan en promedio los países de la OCDE.

Palabras Clave: Productividad, Crecimiento Económico, Depreciación, Fuerza de Trabajo

Abstract

Productivity represents, according to Robert Solow, the main driving factor of economic growth that contributes in a sustained manner over time, to increasing the per capita product and with it the social well-being of the population, but that in our country in the last decade, has shown a downward trend, even assuming negative variation rates. To stimulate it, investment in I+D+i+e+E is key, whose percentage of I+D in our country is barely 17% of that made on average by OECD countries.

Keywords: Productivity, Economic Growth, Depreciation, Labor Force

Introducción

El modelo de Robert Solow Premio Nobel de Economía en 1987 por su contribución a la “Teoría del Crecimiento Económico” es hoy, ampliamente utilizado como base para el análisis de los factores que hacen posible el crecimiento de la producción y el aumento del bienestar.

Solow parte de la premisa que la capacidad productiva de un país se puede resumir en la función de producción propuesta por Knut Wicksell (1851-1926) e investigada con respecto a la evidencia estadística concreta, por Charles Cobb y Paul Douglas en 1928. (De Gregorio

Esta función de Cobb-Douglas se basa en el entendido que el proceso productivo consiste en la aplicación de los factores productivos (Capital = K y Trabajo = L) a un proceso técnico de transformación, que los convierte en producto (Q), y por tanto: $Q = F(K ; L)$.

Lo anterior resulta válido en tanto la productividad se mantiene constante, pero si reconocemos que ello no necesariamente es así, un aumento de productividad se entiende como un incremento en el rendimiento de los factores productivos y por ende, los mismos factores ahora generan más producción, o sea la productividad (A) surge como un factor amplificador de la función de producción, de modo tal que en un determinado período “t”:

$$Q_t = A_t(F(K_t ; L_t))$$

Así, para determinar la tasa de variación del producto, o sea el crecimiento económico ($\Delta Q/Q$), debiéramos aplicar logaritmo a esta función y luego derivar respecto de “t”, de donde se obtiene que: $(\Delta Q/Q) = (\Delta A/A) + S_K(\Delta K/K) + S_L(\Delta L/L)$ en donde S_K y S_L representan la participación relativa del capital y del trabajo respectivamente, sobre el producto total.



“La tasa de crecimiento de la economía se explica por la tasa de crecimiento de la productividad más la tasa de crecimiento de los factores productivos ponderada por sus respectivas participaciones relativas en el producto total”.

No obstante, el crecimiento no necesariamente da debida cuenta de lo que acontece con el bienestar promedio de la población, por lo que más importante que saber qué acontece con el producto total, es analizar lo que sucede con el producto per cápita (Q/L) o sea “ q ” y, como $(Q/L) = q$ entonces $(K/L) = k$ (capital per cápita, o sea, cuánta cantidad de capital existe en promedio por cada trabajador).

Así $(\Delta q/q) = \Delta(Q/L) / (Q/L) = (\Delta Q/Q) - (\Delta L/L)$ y,

como $(\Delta Q/Q) = (\Delta A/A) + S_K(\Delta K/K) + S_L(\Delta L/L)$

$(\Delta q/q) = (\Delta A/A) + S_K(\Delta K/K) + S_L(\Delta L/L) - (\Delta L/L)$ o sea

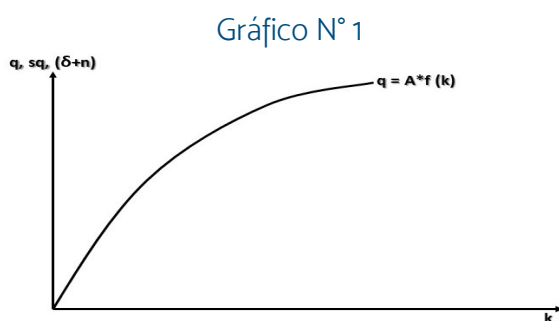
$(\Delta q/q) = (\Delta A/A) + S_K(\Delta K/K) - (1 - S_L)(\Delta L/L)$ y como necesariamente $S_K + S_L = 1$

$(\Delta q/q) = (\Delta A/A) + S_K((\Delta K/K) - (\Delta L/L))$ [?] $(\Delta q/q) = (\Delta A/A) + S_K(\Delta(K/L)/(K/L))$ vale decir

$(\Delta q/q) = (\Delta A/A) + S_K(\Delta k/k)$ de donde se tiene que: $(\Delta q/q) = (\Delta A/A) + S_K(\Delta k/k)$

“La tasa de crecimiento del producto per cápita (q) se explica por la tasa de crecimiento de la productividad más la tasa de crecimiento del capital per cápita (k) ponderada por la participación relativa del capital en el producto total de la economía”.

De la expresión anterior, aplicando antilogaritmo, se infiere que el producto per cápita está en función del capital per cápita, $q = f(k)$, función que se amplifica por la productividad, o sea: $q = A \cdot f(k)$ y como el capital tiene rendimientos a escala decrecientes (cada nueva unidad de capital hace que el producto aumente, pero cada vez menos), la representación geométrica de esta función es:

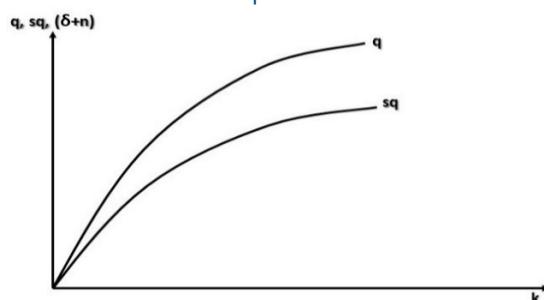


Cabe destacar que, si acaso lo que una persona produce tiene un valor “ X ”, lo que recibe por ello es “ X ”, de donde se obtiene que el valor del ingreso (Y) es igual al valor del producto (Q).

Como las familias distribuyen su ingreso una parte al ahorro y otra parte al consumo, si denominamos propensión marginal al ahorro (s) a la parte de un peso de ingreso (Y) destinado al ahorro, resulta $0 < s < 1$. Entonces el ahorro total de la economía es sY o sea sQ y en términos per cápita, el ahorro per cápita es sq . Por tanto:



Gráfico N° 2

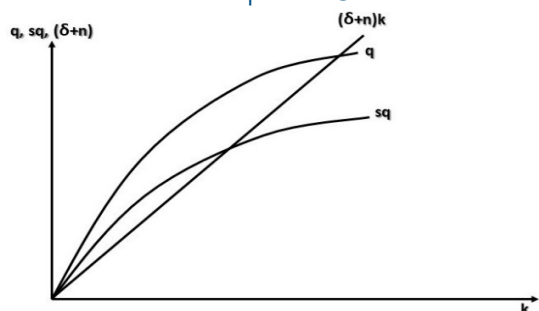


Por otra parte, el stock de capital experimenta una pérdida de valor en el tiempo (depreciación) la que resulta ser una tasa (δ) aplicada al stock de capital. Por tanto, de la inversión per cápita (I/L), una parte de ella debe ser destinada a recuperar el valor inicial del stock de capital per cápita (o sea la depreciación) (δk) y sólo la diferencia incrementa el capital per cápita (Δk).

Pero si además se considera que la población crece a una tasa “ n ”, asumiendo que la tasa de crecimiento de la fuerza de trabajo es igual a la de la población, si acaso el capital se mantiene igual, el capital per cápita disminuirá. Por ende, para mantener el capital per cápita, además de recuperar su depreciación, será necesario equipar a los nuevos trabajadores con el mismo nivel de capital per cápita (nk). Entonces los requerimientos mínimos de inversión per cápita son:

$(\delta k + nk)$ o sea $(\delta + n)k$ y si “ n ” y “ δ ” son constantes, la función de requerimientos de capital resulta ser una línea recta. (De Gregorio 2007, pag. 288)

Gráfico N° 3



Desarrollo

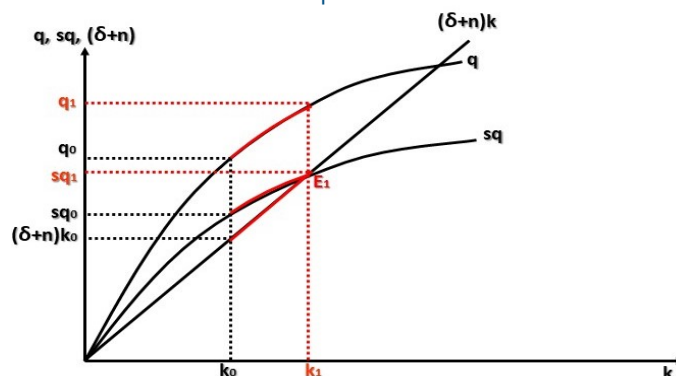
Como la inversión se financia con ahorro, el ahorro per cápita (sq) debe ser igual a la inversión per cápita (I/L). Entonces, si $sq = (\delta + n)k$, el capital per cápita se mantendrá inalterable, manteniéndose la economía en lo que Solow denomina un “Estado Estacionario”, o sea la economía crece, pero el producto per cápita, o sea el bienestar, continúa siendo el mismo.

Pero si $sq > (\delta + n)k$ el capital per cápita crece, lo que hace aumentar el producto per cápita y con ello el bienestar y si por el contrario, $sq < (\delta + n)k$ el capital per cápita decrece, lo que hace disminuir el producto per cápita y con ello el bienestar.

Lo anterior lleva a Solow a formular como hipótesis que “Las economías tienden a crecer en estado estacionario” pues si $sq > (\delta + n)k$ Δk_0 a k_1 con ello aumenta q_0 a q_1 , por tanto también aumenta sq_0 a sq_1 y por otra parte aumenta $(\delta + n)k_0$ a $(\delta + n)k_1$ alcanzándose el estado estacionario en el punto E_1 .

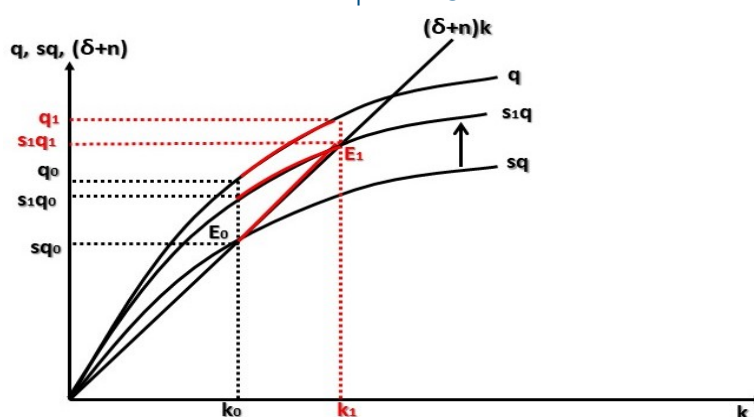


Gráfico N° 4



Se puede entonces concluir que un aumento en la tasa de ahorro (propensión marginal al ahorro) s_0 a s_1 hará que para k_0 , $s_1q > (\delta + n)k_0$ y por tanto Δk_0 a k_1 con ello aumenta q_0 a q_1 , por tanto también aumenta s_1q_0 a s_1q_1 y por otra parte aumenta $(\delta + n)k_0$ a $(\delta + n)k_1$ alcanzándose un nuevo estado estacionario en el punto E_1 . O sea, aumenta el bienestar, pero por una sola vez, y si se quiere obtener nuevos aumentos de bienestar, habría que continuar aumentando la tasa de ahorro, lo que no es sostenible en el tiempo ya que ello va reduciendo la tasa de consumo.

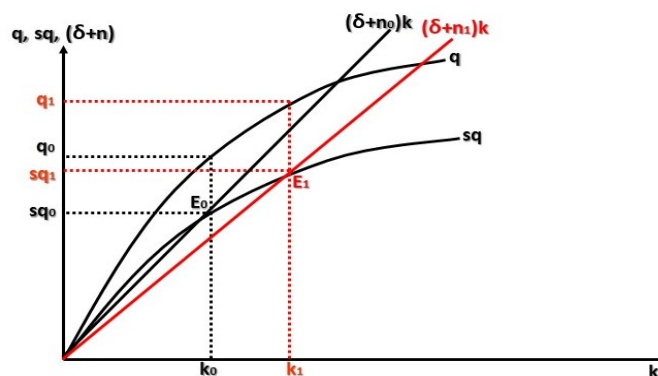
Gráfico N° 5



Otra "receta" que se les ha entregado a los países menos desarrollados para aumentar el bienestar de su población, es reducir la tasa de natalidad n_0 a n_1 , lo que disminuye los requerimientos de capital, de modo que para k_0 , $s_1q > (\delta + n_1)k_0$ y por tanto Δk_0 a k_1 con ello aumenta q_0 a q_1 , por ende también aumenta s_1q_0 a s_1q_1 y por otra parte aumenta $(\delta + n)k_0$ a $(\delta + n)k_1$ alcanzándose un nuevo estado estacionario en el punto E_1 . O sea, aumenta el bienestar, pero por una sola vez y si se quiere obtener nuevos aumentos de bienestar, habría que continuar disminuyendo la tasa de natalidad, lo que no es sostenible, tanto por el decrecimiento del producto total, como por el envejecimiento de la población que ello conlleva.



Gráfico N° 6

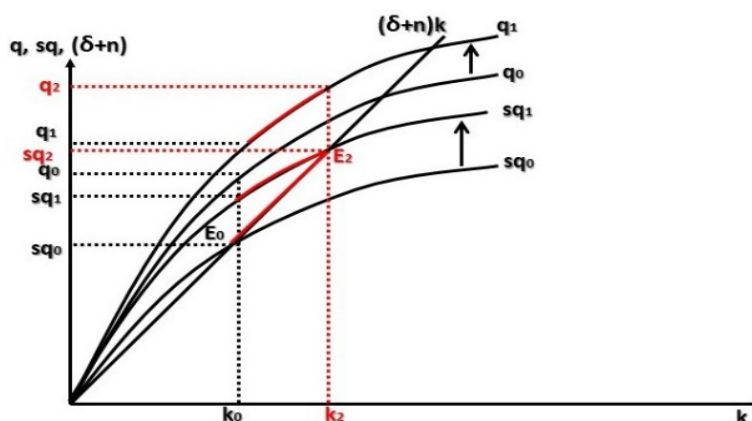


Cabe entonces preguntarse ¿cómo lograr sacar a los países menos desarrollados de una condición de pobreza?

La respuesta está en aumentos sostenidos de productividad, para lo cual es clave la investigación y el consecuente desarrollo tecnológico que ella trae consigo, como también la innovación, el emprendimiento y las mejoras en la educación.

Así, si aumenta A_0 a A_1 , aumenta $A_0 f(k)$ a $A_1 f(k)$, o sea, q_0 a q_1 , lo que hace aumentar sq_0 a sq_1 de modo tal que para k_0 , $sq_1 > (\delta + n)k_0$ y por tanto Δk_0 a k_2 . Con ello vuelve a aumentar q_1 a q_2 , por tanto también aumenta sq_1 a sq_2 y por otra parte aumenta $(\delta + n)k_0$ a $(\delta + n)k_2$ alcanzándose un nuevo estado estacionario en el punto E_2 .

Gráfico N° 7



O sea, aumenta el bienestar y aumenta por dos razones, primero de q_0 a q_1 , por el aumento de la productividad y luego de q_1 a q_2 , por el aumento en el capital per cápita, y esto sí es sostenible indefinidamente en el tiempo en la medida en que exista una política de permanente investigación, desarrollo tecnológico, innovación, emprendimiento y mejora de la educación ($I+D+i+e+E$).

Por ello resulta preocupante lo que ha venido aconteciendo con la productividad total de factores (PTF) en nuestro país, ya que de acuerdo a datos de CAPLES UC, su crecimiento muestra una tendencia decreciente a partir del año 2010, asumiendo valores negativos durante todo el período comprendido entre diciembre de 2013 hasta diciembre de 2017, mostrando una recuperación el año 2018, pero

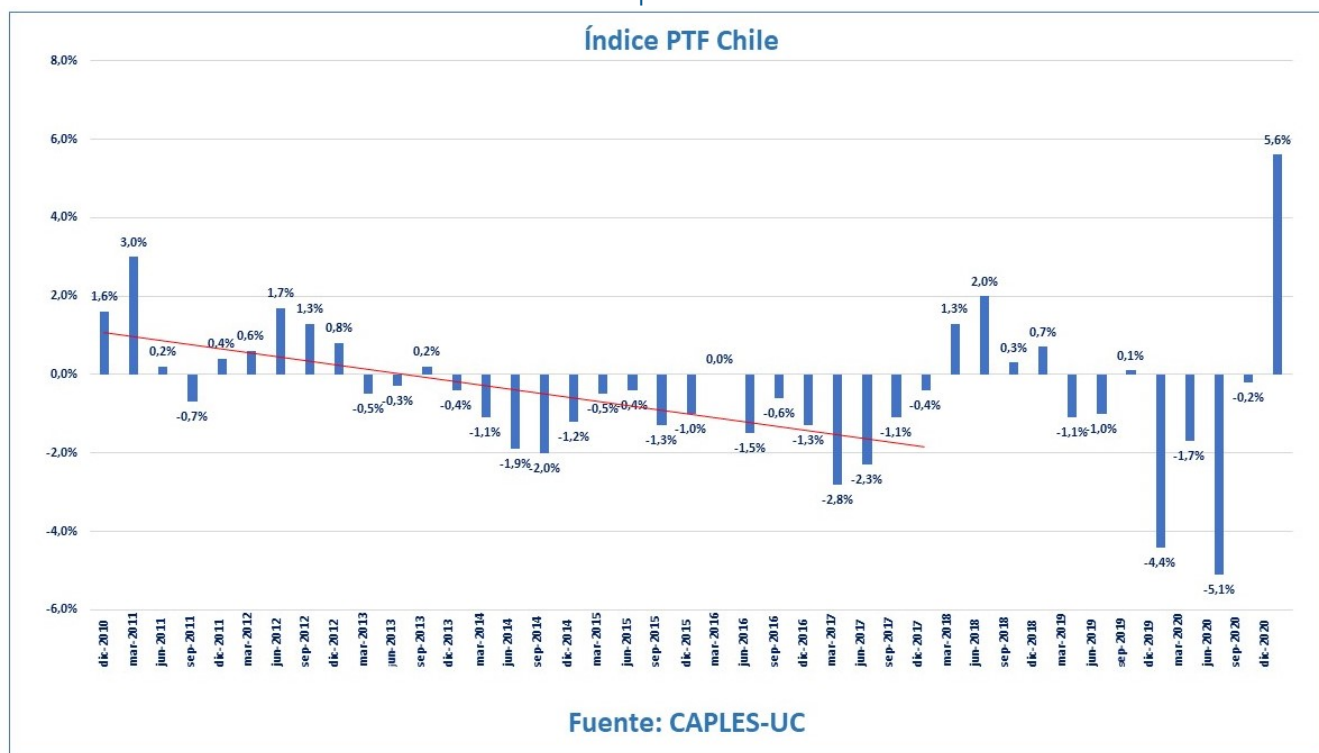


volviendo a decrecer a partir del primer semestre de 2019 y hasta el tercer trimestre de 2020, haciéndose sentir los efectos del estallido social acaecido en octubre de 2019 y la posterior crisis sanitaria Covid19, como se muestra en la tabla de datos N°1 y el gráfico N° 8 (Informe de Productividad Caples UC, marzo 2020).

Tabla N° 1

año	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
mar	3,00%	0,60%	-0,50%	-1,10%	-0,50%	0,00%	-2,80%	1,30%	-1,10%	-1,70%
jun	0,20%	1,70%	-0,30%	-1,90%	-0,40%	-1,50%	-2,30%	2,00%	-1,00%	-5,10%
sep	-0,70%	1,30%	0,20%	-2,00%	-1,30%	-0,60%	-1,10%	0,30%	0,10%	-0,20%
dic	0,40%	0,80%	-0,40%	-1,20%	-1,00%	-1,30%	-0,40%	0,70%	-4,40%	5,60%

Gráfico N° 8



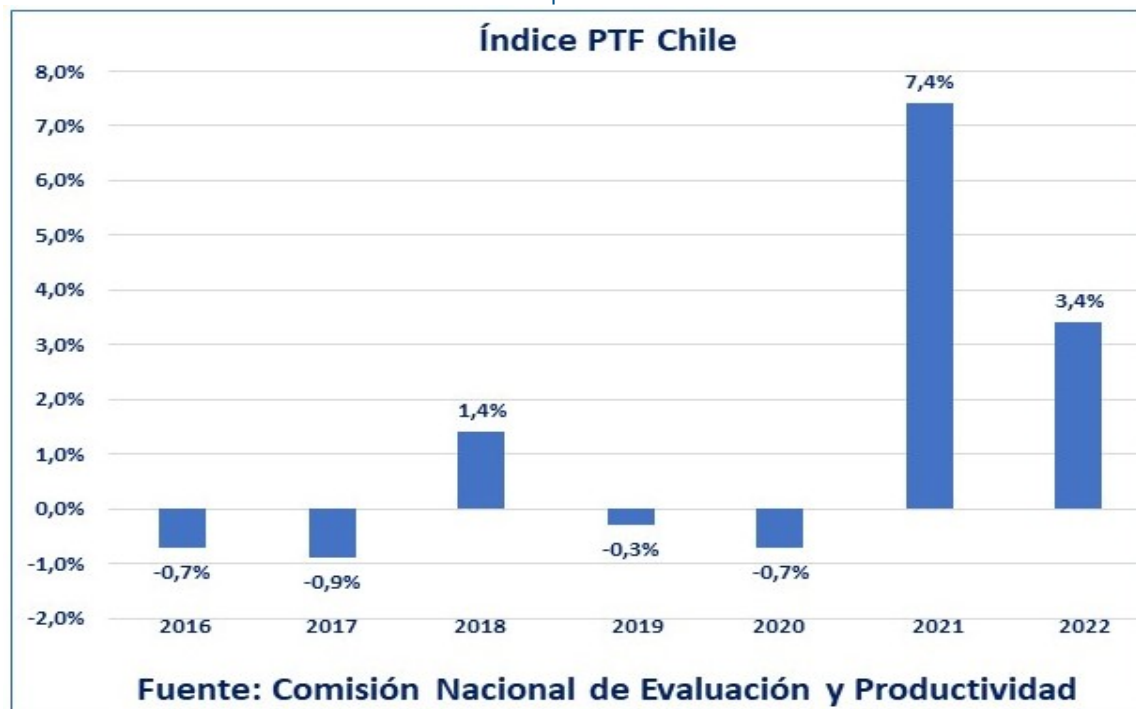
Y si bien se evidencia una recuperación a partir de diciembre de 2020, alcanzando un aumento de 7,4% el año 2021, como se muestra en la tabla de datos N° 2 y el correspondiente gráfico N° 9 elaborado en base a datos de la Comisión Nacional de Evaluación y Productividad, el aumento vuelve a decrecer a 3,4% el año 2022 (Informe anual 2022 CNEP).

Tabla N° 2

Año	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Variación	-0,7%	-0,9%	1,4%	-0,3%	-0,7%	7,4%	3,4%



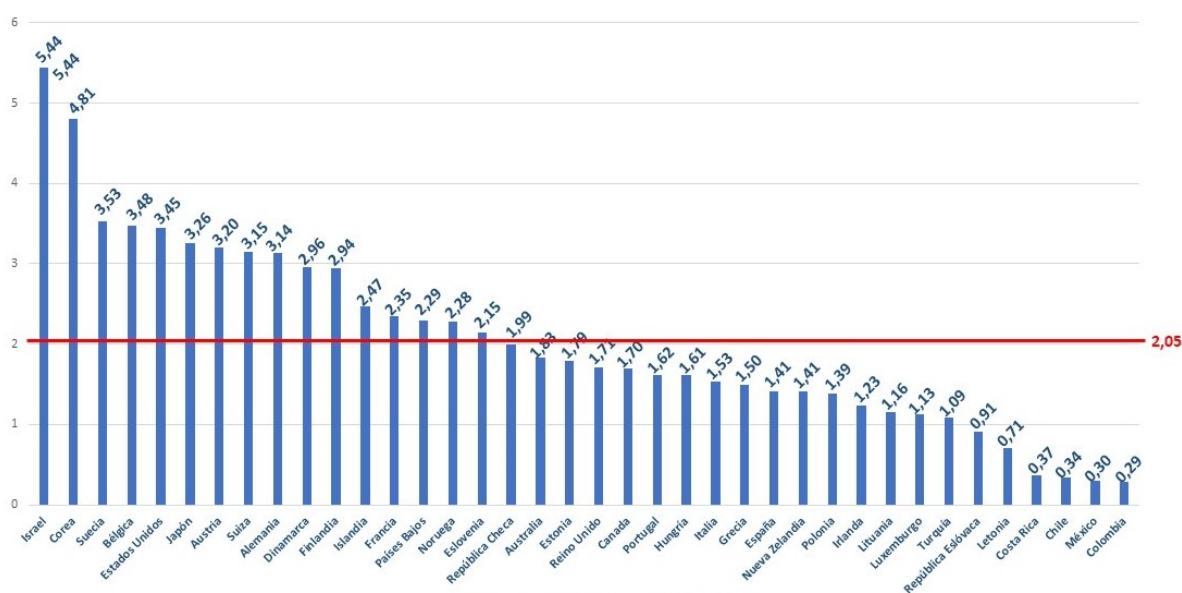
Gráfico N° 9



Para fomentar la productividad es clave la inversión en Investigación, Desarrollo Tecnológico, Innovación, Emprendimiento y Educación (I+D+i+e+E), la que históricamente, en comparación con los países de la OCDE que en promedio invierten en I+D alrededor de un 2% del PIB, en nuestro país es relativamente baja, alcanzando el año 2019 apenas un 0,34% del PIB, como se evidencia en el gráfico N° 10 (<https://datos.bancomundial.org>).

Gráfico N° 10

Gasto en I + D como % del PIB





Conclusión

Durante la última década, nuestro país ha evidenciado una tendencia a la baja en el crecimiento de la productividad, existiendo períodos en los cuales esta ha mostrado tasas de crecimiento negativas.

Factor clave para revertir esta tendencia resulta ser la inversión en I+D+i+e+E. No obstante, según datos del Banco Mundial, el porcentaje de inversión en I+D en nuestro país el año 2019 representó un 0,34% del PIB, muy por debajo de los países de la OCDE, que en dicho período invirtieron en promedio un 2% del PIB, hecho que impone un enorme desafío si acaso se quiere impulsar un crecimiento económico que contribuya de manera sostenida, a aumentar el producto per cápita y con ello, el bienestar de nuestra población.



Todo pasó demasiado rápido

CN Sr. Miguel Vásquez Muñoz

mvasquez@apolinav.cl

Resumen

Para los que leyeron en la edición anterior de la Revista APOLINAV XXI mi historia de cadete “Embarco de Verano” en el año 1970, recordarán que ella finalizó con la ceremonia de graduación como Oficial de Marina con el grado de Subteniente en diciembre de ese año, a la fecha de hoy, en que he presentado mi retiro definitivo, ya han transcurrido 52 años, periodo en que sucedieron muchas vivencias de lo que ha sido mi permanencia en la Institución..... por tanto tiempo.

Ello, me ha llevado a reflexionar y hacer un breve resumen de lo que fue mi carrera en la Armada y contarle a las nuevas generaciones de lo que puede ser la vida de un marino..... donde a veces no se cumple lo que uno desea, pero normalmente..... es lo mejor que puede suceder.

Palabras Clave: Cámara, polola, refit, afirmativa, antigüedad, transbordo, buque insignia, PAC.

Abstract

For those who read in the previous edition of the APOLINAV XXI Magazine my story as a cadet “Embarco de Verano” in the year 1970, they will remember that it finished with the graduation ceremony as a Navy Officer with the rank of Second Lieutenant in December of that year. As of today, when I have presented my definitive retirement, 52 years have already passed, a period in which many experiences of what has been my stay in the Institution took place..... for a long time.

This has led me to reflect and make a brief summary of what my career in the Navy was like and to tell the new generations about what the life of a sailor can be..... where sometimes what one wishes is not fulfilled , but normally..... it is the best that can happen.

Keywords: Naval living room, girlfriend, refit, authorization, order of merit, transshipment, flagship, PAC.

Partamos con la elección de la especialidad. Mi sueño era ser submarinista, desde cadete tuve la influencia de mi padre y mis Oficiales de División submarinistas y con ese deseo egresé de la Escuela Naval en espera de cumplirlo cuando me correspondiera cursar en el grado de teniente 2do..... Ya llegaremos a esa instancia.

Terminadas las cortas vacaciones después del egreso, ya en el año 1971, llegó el embarco en el B.E. “Esmeralda”, con un buen viaje al extranjero que incluyó: Panamá, Cuba, España, Francia, Italia, Yugoslavia, Islas Canarias, Panamá, Ecuador, Perú y regreso a Chile.



1971 Curso de Subtenientes a bordo B.E. Esmeralda, viaje de instrucción



Eventos destacados de viaje: la estadía en La Habana donde tuvimos un tratamiento “especial” de parte del gobierno cubano, al enterarse que no éramos elegidos del “régimen político” para efectuar el viaje. Después vino la tormenta que nos azotó en pleno Atlántico, cuya consecuencia fue la parcial destrucción de nuestra Cámara, comer pan con queso y beber jugo naval durante la travesía, falla del sistema de agua dulce del buque y llegar una semana antes a España, donde tuvimos que esperar en “un puerto de pintado” para cumplir con la fecha oficial de recalada. Al regreso y durante el curso de supervivencia, que todo indicaba que sería un evento relajado, una tormenta tropical frente a las costas ecuatorianas, produjo que los dos botes de doble bancada donde estábamos embarcados perdieron contacto entre ellos y con el buque, estando perdidos en el ancho mar por 3 días, donde gracias a un buque mercante que pasó por el área, pudieron reunirse los dos botes y radiar a la Esmeralda la posición para que nos recogieran. Y finalmente, antes de nuestra llegada a Valparaíso, el 8 de julio, hubo un terremoto en Chile, con epicentro en la V Región, por lo que nuestra llegada fue muy sobria, casi imperceptible. En resumen, nada que estos nuevos lobos de mar no fueran capaces de soportar.

Después vino el curso Politécnico en las Escuelas y el fin de año trajo nuestras futuras destinaciones embarcados. La OT me transbordaba al ATF Aldea, buque de apoyo a la Escuadra, pero no alcancé a cumplirlo porque me cambiaron al DD “Riveros”, buque en el que fui asignado al Depto. de Armamentos. Este buque tenía un atractivo, primero debía ir a Talcahuano (lugar donde vivía mi polola en la Base Naval) a un mantenimiento de preparación, para después realizar un refit en..... Inglaterra por dos años y yo era parte de esa dotación que lo llevaría.



1972 DD Riveros Jefe de la Central 2 de Artillería



Pero no todo puede ser perfecto. Llevaba pololeando, con mi actual Sra., cinco años y no estaba en mis planes separarme de ella por dos años, por lo que solicité permiso al mando para contraer matrimonio “por excepción” (en esa época los Subtenientes no podían contraer matrimonio). En primera instancia no se me dio la autorización, pero siguiendo conducto regular al C.J.A., recibí la afirmativa al matrimonio. Pero..... parece que a mi mando directo no le agradó la resolución, fui relevado por otro Oficial y enviado al buque Insignia de la Escuadra de ayudante del Oficial de Operaciones de la Escuadra. Bueno, esta vez mi destino no era ir a conocer a la reina de Inglaterra.

Como mencioné al principio, lo que ocurre es lo mejor que nos puede suceder, y en el año 1973, fui destinado a la Escuela de Grumetes de Oficial de División de la 3ra División, puesto en el que me desempeñé por 2 años. Creo y es opinión también de mi esposa, que esos dos años han sido los mejores de nuestras vidas, allí nació el primer hijo, hicimos amigos para toda la vida y logramos una especial comunicación con los Instructores y Grumetes dependientes, lazos que hasta el día de hoy perduran. También aproveché el tiempo para consolidar conocimientos en el área submarina y efectué un curso por correspondencia de esa especialidad. Llegué de Subteniente a la isla y salí de Teniente 2°.



El año 1975 ya era el momento de cursar especialidad, siendo destinado a la Escuela de Armamentos a cursar el 1er año común, me fue muy bien en los estudios y en antigüedad, con lo que quedé en posición privilegiada para elegir lo que yo deseaba ser, o sea obtener la piocha del submarino, que ya la había heredado de mi padre. Pero..... aunque no me crean, el año 1976 ha sido el único año que, “por necesidades del Servicio”, no hubo curso de dicha especialidad para Oficiales (éramos solo 3 los postulantes), por lo que tuve que optar por mi segunda prioridad que era Telecomunicaciones, especialidad en la que obtuve el 1er lugar y que en el tiempo me dio grandes satisfacciones, logrando desarrollar hacia ella un tremendo cariño, superando lo que deseaba inicialmente.

1977, flamante Teleco destinado al AO “Araucano”, petrolero que además de abastecer a la flota, viajaba constantemente a levantar cargamentos a la zona del Caribe, Aruba y Curazao. Grandes recuerdos y experiencias de estos viajes, grandes amigos. El año 1978 comenzó muy bien, operaciones con la Escuadra, operaciones UNITAS con la Armada norteamericana, cuando..... se desata la crisis con Argentina y todo se orientó a las operaciones en la zona austral. La intervención papal evitó el enfrentamiento, pero que cerca estuvimos de tener acciones de guerra. También en estos dos años vinieron al mundo mi 2do y 3er hijo.



1979, Teniente 1ero trasbordado a la Escuela Naval, Oficial de División de Cadetes de 1er año. Excelente experiencia de transformar jóvenes civiles en gallardos uniformados navales. Lamentablemente duró muy poco, ya que el mando estimó que debía regresar a bordo, esta vez a la PFG “Condell”, buque en el que me desempeñé como Oficial Tc. el año 1980 (vino al mundo mi 4to hijo) y Oficial de Operaciones al año siguiente. En eso estaba, cuando se supo que la Armada iniciaría la adquisición de un buque del tipo DLG en Inglaterra (Portsmouth). Habían muchos candidatos al cargo de OFTEL, pero..... el nominado fui yo y partí con mi Sra. a vivir algo de lo que habíamos perdido en el año 1971 (Debo reconocer la gran ayuda que nos dieron mis padres y suegros, de quedarse cada uno, con dos de mis hijos hasta nuestro regreso). Tremenda experiencia vivir, estudiar y trabajar en dicho puerto inglés y recorrer algunas ciudades de ese hermoso país.

Y así llegó a Chile el 1er DLG (Ex Norfolk) bautizado como “Prat”, en el que me desempeñé dos años como Oficial Tc. y AWO.



1982 en Portsmouth, recibiendo el 1er DLG Norfolk, una vez en Chile DLG Prat. OFTEL



1984, Capitán de Corbeta, cursando el 1er año de Estado Mayor en la Academia de Guerra Naval, año dedicado al estudio y nada más que al estudio. No fue fácil, con clases mañana y tarde, tareas para la casa, mucha lectura y con cuatro niños que querían jugar con el papá. Gran labor la de la esposa del marino, para atender a los hijos y liberar al padre que tenía certamen al día siguiente y que incluso ella debía leer en voz alta textos de Estrategia, táctica y otros cuando los ojos del estudiante no daban más de cansancio. Y..... aprobamos el curso.

1985 y 1986, me alejé de la costa. Un sorpresivo trasbordo a Santiago, nada más y nada menos que a la Comandancia en Jefe de la Armada a cargo de la Secretaría Administrativa de esa alta Repartición, o sea.... preparar la documentación recibida y generada del Almirante don José Toribio Merino Castro.

Debo reconocer que esa tremenda responsabilidad de clasificar, analizar, redactar documentación, interactuar con el Almirante, no fue tarea fácil, pero gracias al gran trabajo de equipo del personal de Oficiales, Gente de Mar y Empleados Civiles a mi cargo, siempre salimos airoso de los desafíos que se presentan en ese alto nivel de mando en la Armada.

1987, de vuelta en Valparaíso, embarcado en el buque Insignia, integrante del Estado Mayor, en el cargo de Jefe del Centro de Telecomunicaciones y Jefe del Depto A-2 de la Escuadra. Periodo que pasó muy rápido, la Escuadra tenía muchas operaciones en el año a lo largo del litoral. En esos tiempos no existían simuladores u organizaciones de entrenamiento, todo lo hacía el personal del Estado Mayor de la Escuadra y navegando.



**1987 Jefe del Centro de Telecom.
de la Escuadra Nacional.**

1988, año de mando a flote. Fui designado Comandante de la PTF “Fresia”, dependiente del Comando de Torpederas en Puerto Williams. Orgulloso de ser Comandante, pero también veámoslo desde otro punto de vista, el familiar. En tres años, cuatro cambios de casa, de Valparaíso a Santiago, de Santiago a Viña del Mar, otro interno en Viña del Mar por cambio de población y finalmente de Viña del Mar a Puerto Williams, con los correspondientes cambios de colegio de los niños (colegio pagado, colegio subvencionado, escuela pública), cambios en la ropa de abrigo, cambio de amigos, etc. etc..... bueno así es la vida del marino. Y al año siguiente, ascendiendo a Capitán de Fragata, salí premiado, me dejaron otro año en Puerto Williams, ahora como Comandante de la Flotilla de Torpederas y adivinen..... también había que cambiarse de casa.

Cabe destacar que en esta etapa tuve un gran acercamiento espiritual con la Virgen del Carmen (mi antena con Dios), cuya imagen está camino al aeropuerto en Puerto Williams, muchas veces, en condiciones difíciles de clima y mar o peligros, recurrí a ella solicitando su apoyo para que todo saliera bien para mi buque, mi flotilla y sus dotaciones..... nunca me falló.





1990, de vuelta a la Academia de Guerra a cursar 2do año de Estado Mayor, estudiando entre otros: estrategia, geopolítica, relaciones internacionales, logística de alto nivel, planificación de alto nivel, micro y macro economía. Los niños ya más grandes, comprendían que el papá tenía que estudiar y fue más fácil la convivencia familiar. Por fin, a fin de año.... Graduado como especialista en Estado Mayor, Magister en Ciencias Navales y Marítimas con mención en Estrategia.

1991, designado Segundo Comandante del DLG “Latorre”; responsable de la administración del personal (400 personas), mantenimiento del material, régimen diario de a bordo, administración de justicia naval y planificación de actividades en puerto y en la mar. Tremendo buque de guerra, tremenda responsabilidad, grandes hombres profesionales de dotación, que llevaron a la Unidad a ser destacada en la Escuadra por su eficiencia operativa y lo mejor, internamente ser considerado como un “buque feliz”. Reitero, el trabajo de equipo es fundamental.



1992, nuevamente embarcado en el buque Insignia, integrante del Estado Mayor, en el cargo de Jefe del Centro de Telecomunicaciones y Jefe del Depto A-2 de la Escuadra. Muy similar al año 1987..... pero con mayor grado jerárquico.

1993-1997, Capitán de Fragata/Capitán de Navío. Subjefe del Servicio de Telecomunicaciones de la Armada (CF 1 año) y Jefe del mismo Servicio (CN 4 años); responsable de la operación, planificación y gestión de todos los Sistemas de Telecomunicaciones de la Institución, comprendiendo:

Redes de datos de cobertura nacional e internacional en las misiones y agregadurías navales en América y Europa.

Sistemas telefónicos interconectados en el ámbito nacional.

Comunicaciones buque-tierra-buque, por sistemas de HF,VHF, UHF y satelitales.



Administración del presupuesto de telecomunicaciones de la Armada, para su operación y sostenimiento.

Adquisición de material de telecomunicaciones.

Administración de proyectos institucionales de telecomunicaciones.

Normativa de telecomunicaciones navales.

Relaciones con las otras Instituciones de la defensa, Subsecretaría de telecomunicaciones y Empresas de telecomunicaciones nacionales.

..... Rápidos, certeros, seguros, pioneros siempre!!!!!!!.



1998, Capitán de Navío. Comandante del Comando Anfibio y Transportes Navales; responsable de la operación, planificación, entrenamiento y control de medios asignados, que comprendían 6 unidades navales (barcazas Valdivia, Chacabuco, Rancagua, Maipo, transporte Aquiles y un remolcador de apoyo). Y a fin de año, salí a retiro de la Institución y en una sobria y emotiva ceremonia entregué el mando el 24 de diciembre, ocasión en que mis Comandantes dependientes me fueron a dejar en chalupa (a remo) al muelle Prat, lugar donde me esperaban mi esposa y los hijos, entregándome en ese significativo y emocionante acto a la vida civil.



1988 Comandante del Comando Anfibio y Transportes Navales



Buques dependientes: Valdivia, Rancagua, Chacabuco, Maipo, Aquiles, Janequeo
1998-COMANFITRAN llevado a tierra por sus Comandantes
Mando entregado Conforme y... ¡misión cumplida!!!!

1999, ya en la nueva vida como Director de Proyectos de Telecomunicaciones del área Gobierno y Defensa en la empresa CHILESAT (Santiago), cargo que asumí el 03 de enero, recibí a mediados de año un llamado telefónico desde la Dirección de Programas Investigación y Desarrollo de la Armada, donde se me preguntó si deseaba volver a la Institución para trabajar en un Proyecto de construcción de 8 Fragatas en Chile denominado “Tridente”. No lo pensé dos veces y a la semana ya estaba integrando el team encargado de ese gran proyecto. Fue así como asumí el cargo de jefe del sistema de telecomunicaciones, siendo responsable de la elaboración de requerimientos para licitación internacional, evaluación, negociación y selección de la empresa de comunicaciones que proveería el sistema integrado de comunicaciones internas y externas para la Fragata Meko 200 del Astillero alemán Blohm & Voss, que había sido seleccionada como plataforma. Como parte de mi trabajo viajé a Alemania, conociendo y trabajando en el Astillero en la ciudad de Hamburgo, como así también en la ciudad de Múnich donde estaba la empresa Rohde & Schwarz que había ganado la licitación del sistema integrado de telecomunicaciones.

Lamentablemente por una decisión política del gobierno de turno, el proyecto fue cancelado a principios del año 2002, cuando solamente faltaba una semana para firmar el Contrato de Construcción. Posteriormente, hubo otro proyecto de construcción en Chile, denominado “Fragata”, el que también fracasó por decisión política, optándose por la compra de buques usados, denominándose Proyectos Puente I, II y III.

2004 -2012, fue así como ahora trabajando en calidad de PAC en DIPRIDA,

Me desempeñé en el cargo de asesor de proyectos de telecomunicaciones de dicha Dirección, participando en la navalización de todos los buques de combate (trabajos que se efectuaron en Holanda e Inglaterra) y petroleros de la Escuadra nacional, en los proyectos de construcción de patrulleros de zona marítima (OPV), buque hidrográfico, adquisición de aeronaves y otros proyectos de telecomunicaciones desarrollados en el territorio nacional.

La navalización de cada unidad en el extranjero, implicaba para el team de trabajo de DIPRIDA (5 en total) un mes de trabajo por buque (4 buques en Den Helder, Holanda y 3 buques en Portsmouth, Inglaterra). Es decir nuevamente regresé a Europa y por supuesto acompañado de mi esposa que, mientras yo trabajaba, ella recorría sola esos hermosos parajes extranjeros, excepto el domingo que la acompañaba, ya que era el único día que en el team nos dábamos un descanso.... ahora ya no había problema con los hijos.... crecieron y se independizaron.



En mis estancias en el país, aproveché de hacer clases como profesor militar en la Escuela Naval y en la Academia Politécnica.

Pero ya estaba cumpliendo la edad máxima autorizada por la Armada para el personal PAC (65 años), por lo que salí a retiro y me acerqué a la Academia a presentar mi renuncia como profesor militar.

Grande fue mi sorpresa, cuando el Director de la época me dice “¿Y por qué no sigue haciendo clases como profesor civil?”. El Reglamento docente permite ser profesor civil hasta la edad de 75 años,..... o sea podía continuar en esta hermosa labor por algunos años más, con más Asignaturas, más horas de clases (profesor militar solo permitía 12 horas) y por supuesto lo que ello conlleva, mayores responsabilidades.

2012 – 2018 Y fue así como me inicié de profesor civil en la Academia Politécnica Naval, en los ramos: Sistemas de telecomunicaciones, Sistemas integrados de Tc., Antenas y propagación, Propagación y transmisión de datos, Análisis de sistemas de Tc, para oficiales Telecomunicantes, Navegantes e Ing. Nav. Electrónicos y también Teoría de telecomunicaciones para Marineros Mc.Eln.Tc y Mc.Eln.Rd. El 2014, además asumí la Jefatura de Cátedra de Operaciones de Oficiales. Cabe destacar que este año la Academia se hizo merecedora a la Acreditación Institucional por un periodo de 4 años y en el año 2018, en un nuevo proceso ante la Comisión Nacional de Acreditación, se acreditó esta vez por un periodo de 5 años.

Ah.... Y no crean que ser profesor civil es fácil, aparte de estar actualizándose permanentemente en las materias que uno enseña (en especial en los ramos profesionales), preparación de clases y certámenes, informes, trabajo en el SIGA, hay capacitaciones que debe realizar un docente en sus horas disponibles, donde personalmente tuve que hacer el Curso de capacitación pedagógica, participar en el primer encuentro latinoamericano de Aprendizaje Significativo, Curso de Planificación y docencia con la integración de las TIC's, capacitación para el empleo de la plataforma Moodle, Curso de capacitación de innovación curricular, capacitación para el empleo del nuevo formato del Syllabus, entre otros.

2019, este año estaba en mis planes presentar mi retiro definitivo, además el 18 de octubre de 2019 se produjo el denominado “estallido social”, que entre otros, produjo sensación de inseguridad en mi entorno familiar. En noviembre cuando pensaba informar de mi retiro, fui llamado a la oficina del Director; en un rápido análisis para deducir el porqué de la citación, no logré determinar la respuesta a mi interrogante.

En la oficina estaban además del Director, el Subdirector Académico y el Jefe del Depto. Académico. Grande fue mi sorpresa cuando el Director se dirige a mi persona y dice “mi Comandante, tengo el honor



de informarle que ha sido designado Decano de esta Academia” ¡Plop! Ante tan grande honor, ya no pude presentar mi renuncia y acepté este nombramiento a contar del 1ero de enero del 2020.

2020, año muy especial, con un buen comienzo y con muchos bríos en mi nuevo cargo, pero en el mar de la vida, repentinamente se desatan tormentas sin previo aviso, que alteran los mejores planes y programas.

El viernes 13 de marzo de 2020, le comunicaba a mis Jefes de Cátedra lo siguiente:

La APOLINAV, no está ajena a estos sucesos y aplicará protocolos en caso de contagio de algunos de sus componentes, determinándose por el momento lo siguiente:

- 1.- En caso de tener 1 familiar con caso confirmado, se aísla a la persona.
- 2.- En caso de 1 alumno con el virus, se suspenden clases del Curso, cuarentena (14 días).
- 3.- En caso de 2 o más alumnos se cierra el Campus, cuarentena.
- 4.- En caso de un profesor con el virus, se cierra el Campus correspondiente, cuarentena.



“Estimados Jefes de Cátedra,

Como Uds. saben, el coronavirus se está extendiendo por el país y a la fecha hay 2 colegios que cerraron por cuarentena.

Petición a los Jefes de Cátedra:

1. Considerando que de suceder algunos de los casos anteriores y que la Academia tenga que cerrar por cuarentena, con la consiguiente pérdida de clases, a contar del lunes 15 y durante esa semana, se solicita analizar e identificar con sus profesores dependientes, en sus respectivos programas de asignaturas por especialidad, cuáles son las Unidades Temáticas esenciales que obligatoriamente se deben estudiar para poder terminar el Primer Semestre, al menos satisfactoriamente.
2. Que todas sus Asignaturas y alumnos participantes, estén matriculados en Moodle, para trabajar a través de internet si fuese necesario.

Atentamente”.

Y el 16 de marzo, día de mi cumpleaños, donde incluso estaba programada la primera reunión del año del Director con el Cuerpo docente, se produce el caos de la pandemia COVID 19, alterándose completamente el régimen militar y docente de la Institución, despachándose personal a sus domicilios, otros acuartelados para funciones guarnicionales, etc. etc..... casi nadie se acordó de mi cumpleaños. Y



así transcurrió este año, con clases on line, otras pocas presenciales y otros repitiendo curso por cumplimiento de funciones de control durante la pandemia; la normalidad tímidamente comenzó a llegar durante el mes de octubre.

No fue fácil ejercer el Decanato en ese duro periodo, pero con el apoyo del Capitán Jorge Jaña (en la Academia), de los Jefes de Cátedra y docentes (on line), logramos salir de la tormenta y arribar a buen puerto a fin de ese año, golpeados..... pero a flote.

2021 y 2022 y ya esta historia está llegando a su fin, recuperación de la normalidad, regreso a las aulas, dejando de a poco atrás los aforos, el alcohol para las manos, el amonio cuaternario, las mascarillas, los contactos estrechos COVID, ¿y yo?, faltándome un año para llegar a los 75 de edad, tomé la decisión de dejar la Armada después de 52 años desde mi egreso de la Escuela Naval, lo que se hizo efectivo el 31 de diciembre del año 2022. Para lo cual en ceremonia interna en el Salón Hyatt hice entrega del Decanato al CN (R) Sr. Luis Moraga F.

Fue una semana dura (física y emocionalmente), ya que tuve eventos de despedida de profesores, Cámara de Oficiales (R), Subdirección Académica y Cámara general de Oficiales. Hermosos recuerdos de mi última singladura navegada en la Institución, regresando a mi fondeadero permanente junto a mi esposa, para desarrollar una nueva vida en la civilidad..... desocupado, con algunos proyectos, pero vamos con calma.

Me despido dando gracias a todos y cada una de las personas con las que interactué, por su comprensión, amistad, trabajo de equipo y haber sido parte de mi vida... y lo último que puedo agregar es que..... todo pasó demasiado rápido.



Un gran abrazo y que tengan un excelente año 2023... y como siempre digo... con salud y bienestar.

Miguel Vásquez Muñoz
Capitán de Navío
Ex Decano APOLINAV



APN

ARMADA DE CHILE

