

Covid19TechChallenge 2020  
Propuesta Técnica  
PUMII PERU  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA



'Diseño de un ventilador artificial inteligente con un modelo de machine learning integrado para dar soporte en el tratamiento de pacientes con COVID-19'

Integrantes:

[Antony Cristian Tarazona Valverde](#)

[Arturo Moises Flores Alvarez](#)

[Cesar Colorado Caceres](#)

[Gustavo Dextre Zubieta](#)

[Jesús Andrés Vizarreta Silva](#)

[Julio Canahuire Vilca](#)

[Marco Antonio Vela Rodriguez](#)

Miembro Clave:

Dr. Jorge Edmundo Morales Corvacho CMP 012487

[Luis Mario Honores Torres \(UNMSM\)](#)

## **Abstract**

La propuesta busca diseñar un ventilador mecánico inteligente que permita monitorear en tiempo real ciertas variables críticas en la evolución de un paciente detectado con COVID-19. Mediante un mecanismo este ejerce presión sobre un respirador Ambu que ayuda a la respiración del paciente. Adicionalmente este respirador incluye sensores de temperatura y presión que le permiten saber en todo momento el estado actual del paciente. Las mediciones de los sensores son transmitidas por una red local a una base de datos, que luego será mostrada a través de una interfaz que permitirá monitorear a los pacientes en una sala de emergencia. Además de ello, se procesa ciertas características de la evolución de los pacientes mediante un algoritmo de Machine Learning que puede determinar casos similares de un paciente con una data previamente entrenada. Tomando así de la experiencia previa como expediente para tratamientos futuros.

# Índice

<b>Abstract</b>	<b>2</b>
<b>Índice</b>	<b>3</b>
<b>Objetivos de la propuesta técnica</b>	<b>4</b>
<b>Introducción</b>	<b>5</b>
<b>1. Diseño Mecánico</b>	<b>6</b>
1.1 Estado del arte	6
1.2 Descripción	6
1.3 Componentes	6
<b>2. Diseño electrónico y control</b>	<b>9</b>
2.1 Descripción	9
2.2 Componentes	9
2.3. Diagrama de flujo del control	11
<b>3. Diseño de la propuesta informática</b>	<b>12</b>
3.1 Base de datos	12
3.1.1 Propósito	12
3.1.2 Descripción de cada entidad y los atributos	13
3.2 Interfaces	16
3.2.1 Descripción	16
3.3 Modelo de machine learning para la toma de decisiones médicas en ventilaciones mecánicas	21
3.3.1 Antecedentes	22
3.3.2 Técnicas	22
3.3.3 Sobre el modelo	22
<b>4. Costos y presupuestos</b>	<b>23</b>
<b>5. Adaptabilidad de la solución a monitores UCI</b>	<b>26</b>
<b>6. Referencias</b>	<b>27</b>

## **Objetivos de la propuesta técnica**

Los objetivos generales de esta primera propuesta técnica son los siguientes:

- Disminuir la tasa de mortalidad con nuestro modelo de machine learning que será base para futuras investigaciones y cuyo resultado será la mejora de respuesta ante este tipo de situaciones como la ocasionada por el COVID-19.
- Brindar soporte a hospitales nacionales para prevenir un desabastecimiento de equipos para cuidados intensivos.
- Aportar con el camino de la digitalización en los hospitales nacionales.

## Introducción

El Coronavirus es una gran familia de virus conocidos por causar enfermedades que van desde un resfriado común hasta manifestaciones clínicas más severas como el Síndrome respiratorio por el coronavirus de Oriente Medio (MERS) y Síndrome respiratorio agudo grave (SARS). Una nueva enfermedad (COVID-19) se identificó en 2019 en Wuhan, China. Este es un nuevo coronavirus que no se ha identificado previamente en humanos y el cual ha ocasionado un estado de alerta mundial. El equipo **PumiiPeru** de la **Universidad Nacional de Ingeniería UNI** con el apoyo de colegas médicos de la **Universidad Nacional Mayor de San Marcos UNMSM** como parte de su responsabilidad social desarrolló el siguiente proyecto de nombre **“Diseño de un ventilador artificial inteligente con un modelo de machine learning integrado para dar soporte en el tratamiento de pacientes con COVID-19”** que busca dar soporte al sistema de salud peruano con un diseño económico, además de aportar modelos de machine learning para futuras investigaciones médicas en tópicos similares o para dar una mejor respuesta a enfermedades similares.

# 1. Diseño Mecánico

## 1.1 Estado del arte

Los diseños comerciales existentes usan sopladores de turbina (bombas) de RPM extremadamente altas para generar un alto flujo a alta presión. Estos pequeños motores eléctricos pueden detener, iniciar y ajustar el flujo en milisegundos. Un sensor de flujo es obligatorio para medir el flujo hacia el paciente y calcular el volumen tidal ( $V_t$ ) bajo el siguiente esquema mostrado a continuación.

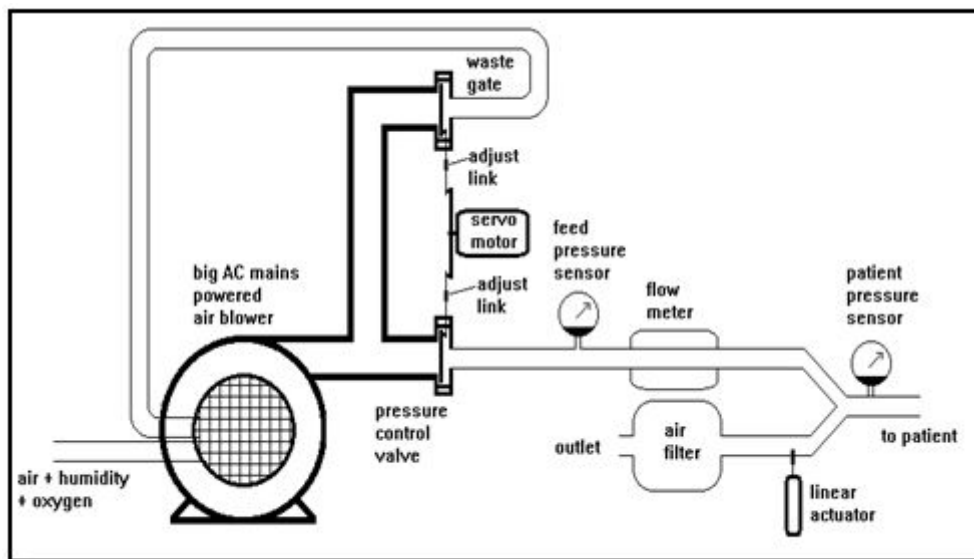


Fig 1. Esquema de un ventilador mecánico comercial.

## 1.2 Descripción

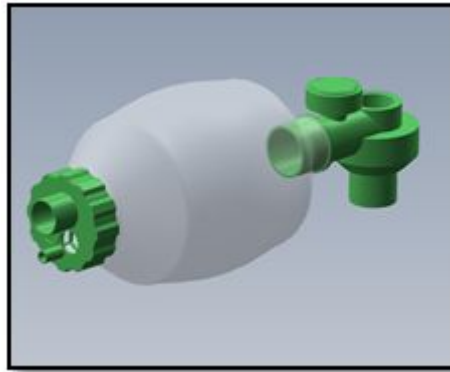
El diseño que presentamos es totalmente económico y está basado según el funcionamiento del dispositivo AMBU (Bolsa-válvula-mascarilla) para procesos de anestesia. Adicional a esto, tiene un mecanismo simple basado en el principio de movimiento guía de una leva. Esto se logra con el control de un sistema (servomotor-engranaje-tornillo sinfín-eje estático).

## 1.3 Componentes

### Bolsa Ambu

La textura de la superficie de las bolsas Ambu permiten una ventilación efectiva en periodos largos de tiempo. El Ambu Resucitador Silicona Oval no contiene látex. Las versiones adulto y pediátrico generan volumen tidal de 700 ml y 450

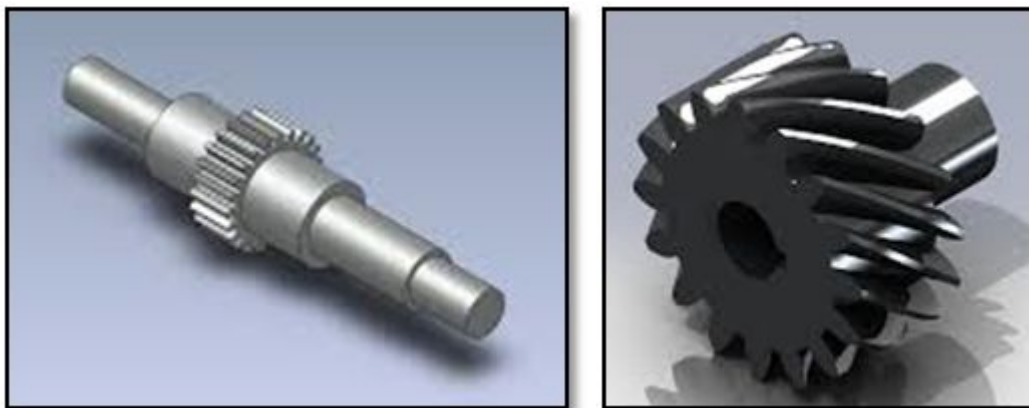
ml respectivamente. Ambu Resucitador Silicona Oval, adulto, peso corporal desde 30 Kg (10 años) Volumen 1475 ml. Dimensiones (largo x diámetro) 291 mm x 128 mm (11.45 pulg. x 5 pulg.).



**Fig 2. Respirador tipo Ambu**

### **Engranaje-tornillo sin fin**

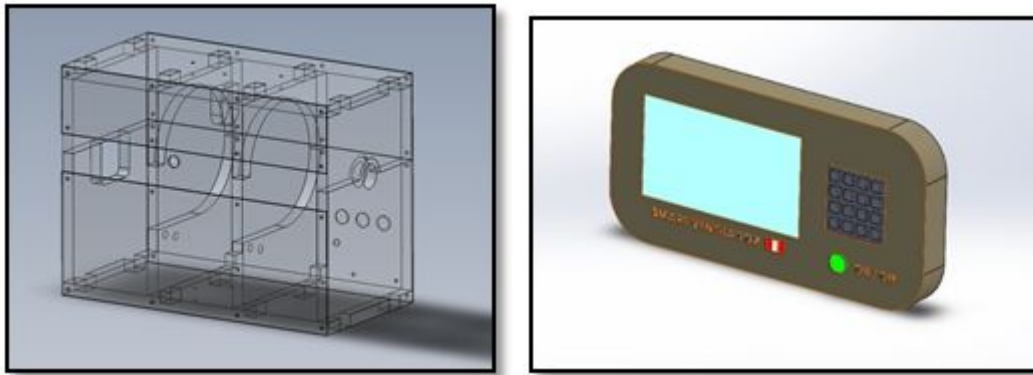
El mecanismo de engranaje-tornillo sin fin tiene ventajas sobre otros tipos de engranajes por el autobloqueo. No tendrá movimiento de retroceso. Se recomienda usar como material aceros de bajo carbono como el AISI 1020, 4320 o 8620. Este mecanismo es el encargado de transmitir las RPM del servomotor a usarse en un movimiento lineal vertical para presionar la bolsa Ambu, generando la presión necesaria para el flujo de aire.



**Fig 3. Mecanismo del tornillo sin fin**

### **Case y Panel de control:**

Todo el sistema debe estar integrado en un case para su fácil transporte y también para visualizar los datos tomados, se tiene un diseño similar a un maletín con una pantalla y mando de controles. El material puede ser desde acrílico hasta un molde de PET.



**Fig 4. Panel de control en 3D y case**

### **Motor de engranaje de ángulo recto**

El motor de engranaje de ángulo recto también se llama motor de engranaje de gusano, motor de caja de cambios de 90 °, es un motor de CC con caja de cambios de 90 °. Este tipo de caja de cambios está diseñada para cambiar la dirección de salida del motor, a fin de adaptarse a algunos requisitos de espacio especiales.

Las más grandes ventajas:

1. Ruido muy bajo
2. Dirección de salida cambiada
3. Inercia muy baja
4. Muy pequeña reacción
5. Par estático alto (par de soporte), significa que no se puede girar el eje a mano o a palanca.

Lugar del origen:	Guangdong, China
Marca:	ETONM MOTOR
Número de Modelo:	ET-WGM46
Aplicación:	Electrodomésticos, Persianas Eléctricas, cortina, válvula eléctrica
Certificación:	CE, Rohs, ISO9001, ISO14001
Tipo:	Motor de engranaje
Torsión:	1-30kg.cm
Construcción:	Series Wound
Conmutación:	Cepillo
Característica de pr.	A prueba de explosiones
Velocidad (RMP):	1-160 rpm
Corriente Continuo:	2A
Eficiencia:	80%
Nombre del produc.	Motor de engranaje de gusano dc de kg.cm de torsión 46mm
Palabras clave:	De baja rpm engranaje motor
Tipo de Motor:	Motor de engranaje de
Tamaño:	46*33
Color:	Blanco plateado

**Fig 5. Especificaciones del motor**



## 2. Diseño electrónico y control

### 2.1 Descripción

En esta sección mostraremos un esquema general de la propuesta a nivel electrónico que en todo momento se destacó por su precio, facilidad de construcción y confiabilidad. Para ciertos estándares en las unidades de control hemos tomado en cuenta los parámetros recomendados por el '*Center for Safety, Simulation and Advanced Learning Technologies - University of Florida Health*' (ver referencia [1])

El presente ventilador artificial inteligente a nivel electrónico presenta una unidad de control que se encarga de realizar una cantidad de actividades cruciales, tales como:

- Manejar un tablero de control.
- Recolectar la data de los sensores que monitorean la recuperación del paciente.
- Controlar el motor que mediante una leva ejerce presión sobre el respirador mecánico.
- Enviar datos a la red local para que sean mostrados en el computador principal y almacenados en una base de datos.

Cada uno cumple una función importante en la propuesta, puesto que le da un valor agregado a este respirador artificial inteligente, y tiene beneficios por sobre las soluciones que ya existen en el mercado.

### 2.2 Componentes

#### Unidad de control Raspberry

Raspberry Pi es un ordenador de placa reducida, ordenador de placa única u ordenador de placa simple (SBC) de bajo costo desarrollado en el Reino Unido por la Raspberry Pi Foundation, con el objetivo de estimular la enseñanza de informática en las escuelas. En este proyecto utilizaremos la Raspberry pi 4B, la cual es la última versión lanzada por la compañía presentando mejoras radicales en el funcionamiento total de la placa. La Unidad de Control de la Raspberry pi 4 cuenta con una CPU 1.5GHz 64-bit quad-core Cortex-A72 que le permitirá desarrollar plenamente:

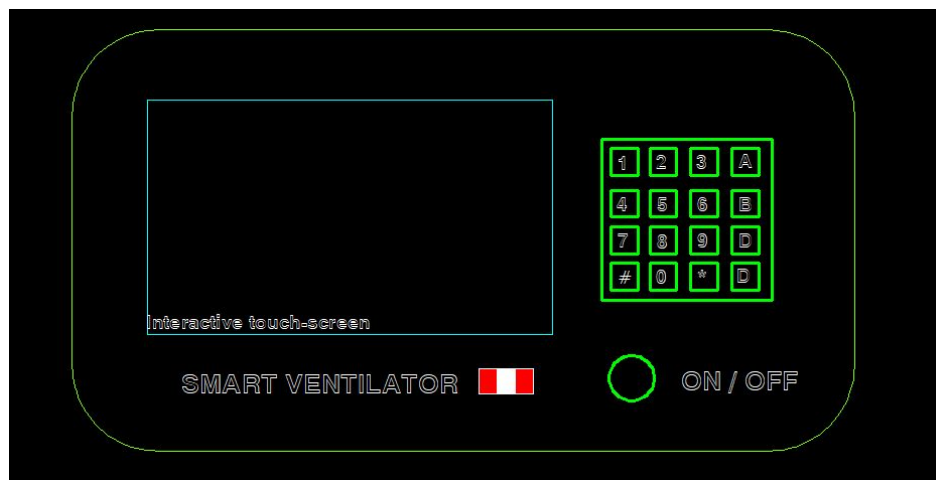
- **Tareas de control de hardware** (motor dc, pantalla táctil y sensores). Referirse a
- **Recepción y envío de información actualizada en tiempo real** a la red local más rápido que un Smartphone.

- **Desarrollarse sin ninguna interrupción** por un periodo de hasta meses con un adecuado encapsulado y ventilación (ver referencia [2] )

Con una alimentación permanente de su conector/transformador como máximo de 15.3 W (5.1 Volt. / 3 Amp) podremos alimentar establemente a la placa y a la electrónica empleada.

### **Tablero**

El tablero consta de una pantalla táctil de 5" compatible con Raspberry, un teclado matricial y unos botones que le permite apagar el dispositivo o reiniciarlo.



**Fig 6. Plano del panel de control**

El tablero busca ser lo más minimalista y rápido de usar. Para ello, interactuando con la touch-screen podremos ingresar os BPM necesarios para realizar la adecuada respiración e iniciar rápidamente el proceso. Además de ello, presentará en tiempo real un gráfico que muestre la presión ejercida por el paciente en todo momento del proceso de respiración.



**Fig 7. Imagen de la pantalla del panel de control.**

Como componente adicional también mostrará notificaciones al médico si es que el paciente está estable o si necesita una mayor atención.

### **Sensores y recolección de data**

Los sensores a utilizar expuestos en la tabla se encargarán de medir constantemente

- **Temperatura:** Puesto que según la referencia [3], debido a la hemodinámica del paciente se cita lo siguiente *‘En adultos con COVID-19 y shock, sugerimos usar parámetros dinámicos de temperatura de la piel, tiempo de llenado capilar y / o medición de lactato sérico sobre parámetros estáticos para evaluar la capacidad de respuesta de fluidos’* en el **inciso 8** de la **Tabla 2 de recomendaciones y declaraciones**
- **Presión de oxígeno:** Puesto que según la referencia [3], debido a la ventilación requerida del paciente se cita lo siguiente *‘Para adultos con ventilación mecánica con COVID-19 y SDRA, recomendamos enfocar las presiones de meseta (Pplat) de <30 cm H2O’* en el **inciso 31** de la **Tabla 2 de recomendaciones y declaraciones**

### **Motor DC**

Para este proyecto se utilizará un servomotor DC que será controlado mediante un control PID. Usaremos un control PID para el motor debido a su buena eficiencia y bajo costo de implementación comparado con otros métodos de control. Para la señal que se enviará del controlador al motor se utilizarán pines PWM, que significa modulación por ancho de pulso, los cuales permitirán controlar la cantidad de voltaje que se envíe al driver L298N que se utiliza para controlar el servomotor y este último se conecta con el motor utilizando uno de los 2 puentes H que contiene. En la parte del código para control habrá 3 rutinas que dependen del BPM (bombeo por minuto) que necesite cada paciente, estos dependiendo del BPM nos indican cómo se encuentra el paciente (estable, atención y cuidado). Para el control en conjunto con el Raspberry (ver referencia [4]).

## **2.3. Diagrama de flujo del control**

Revisar el **Anexo 1**.

## 3. Diseño de la propuesta informática

### 3.1 Base de datos

#### 3.1.1 Propósito

En esta sección presentaremos la Base de Datos a utilizar para nuestro proyecto, la cual permite almacenar datos sobre cualquier tipo de fenómeno observable relacionado a una persona, lo cual la hace fácilmente escalable e idónea para recopilar información de pacientes bajo monitoreo constante. Dicha base de datos es fácilmente replicable y tiene la capacidad de funcionar sin necesidad de internet.

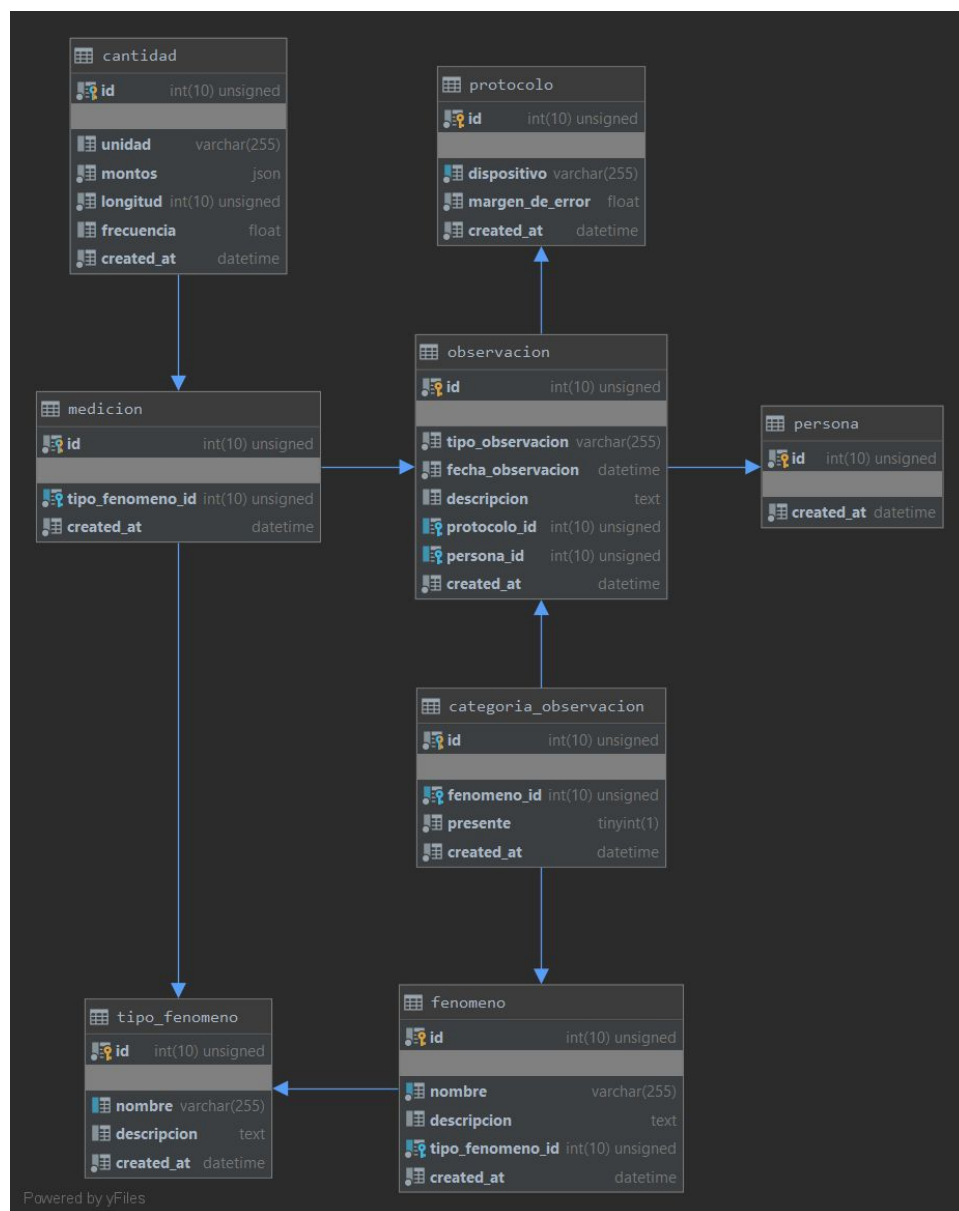


Fig 8. Modelo entidad - relación

### **3.1.2 Descripción de cada entidad y los atributos**

#### **Entidad Cantidad**

La entidad cantidad consiste de los siguientes atributos:

1. Id:  
Número entero sin signo que identifica únicamente a la entidad cantidad.
2. Unidad:  
Cadena de texto que representa las unidades del Sistema Internacional que posee la cantidad en cuestión.
3. Montos:  
Conjunto ordenado de números reales que representan los valores reales producto de la medición, por defecto se espera un único valor.
4. Longitud:  
Número entero que representa la cantidad de números en la propiedad montos, tiene como valor por defecto 1.
5. Frecuencia:  
Número real que representa la frecuencia en Hz ( $s^{-1}$ ) que poseen los montos, tiene como valor por defecto null, que significa que solo existe un monto.

#### **Entidad Observacion**

La entidad observación representa el resultado real de la observación de un fenómeno, tiene como atributos:

1. Id:  
Número entero sin signo que identifica únicamente a la entidad observación.
2. TipoObservacion:  
Cadena de texto que indica el tipo de observación, existen dos tipos de observación, "medición" y "categoría de observación".
3. FechaObservacion:  
Fecha en la que se realizó la observación, esta puede ser diferente a la fecha en la que el dato ingresó al sistema.
4. Descripcion:  
Cadena de caracteres que proporcionan información adicional sobre la observación.

#### **Entidad Medicion**

La entidad medicion representa un tipo de observación cuantitativa, tiene como atributos:

1. Id:  
Número entero sin signo que identifica únicamente a la entidad medición y la relaciona con la entidad observación.

2. TipoFenomenold:

Número entero sin signo que relaciona a la entidad TipoFenomeno.

**Entidad Categoria-Observacion**

La entidad categoría-observación representa la ausencia o presencia de un fenómeno particular y tiene los siguientes atributos:

1. Id:

Número entero sin signo que identifica únicamente a la categoría de observación.

2. Fenomenold:

Número entero sin signo que relaciona a la entidad Fenómeno.

3. Presente:

Valor booleano (verdadero o falso) que indica si el fenómeno estuvo presente o no.

**Entidad Fenomeno**

La entidad fenómeno representa un valor discreto del tipo de fenómeno y tiene como atributos:

1. Id:

Número entero sin signo que identifica únicamente al fenómeno.

2. Nombre:

Cadena de texto que identifica únicamente al fenómeno.

3. Descripcion:

Cadena de texto que brinda información adicional sobre el fenómeno.

**Entidad TipoFenomeno**

La entidad TipoFenomeno representa las diferentes clases de fenómenos observables, tiene como atributos:

1. Id:

Número entero sin signo que identifica únicamente al tipo de fenómeno.

2. Nombre:

Cadena de texto que identifica únicamente al tipo de fenómeno.

3. Descripcion:

Cadena de texto que brinda información adicional sobre el tipo de fenómeno.

**Entidad Protocolo**

La entidad protocolo representa el proceso de medición, tiene como atributos:

1. Id:

Número entero sin signo que identifica únicamente al protocolo.

2. Dispositivo:

Cadena de caracteres que identifican únicamente a un dispositivo usado durante la observación.

3. **MargenDeError:**

Número real que representa el margen de error simétrico en el proceso de observación del fenómeno.

**Entidad Persona**

La entidad persona representa al ente sobre el que recae la observación, tiene como atributos:

1. id: representación numérica de 10 cifras como máximo para el número de documento
2. nombre: representación de secuencia de caracteres de longitud 40 para representar el nombre del paciente
3. apellido paterno: representación de secuencia de caracteres de longitud 20 para representar el apellido paterno del paciente
4. apellido materno: representación de secuencia de caracteres de longitud 20 para representar el apellido materno del paciente
5. peso: representación cuantitativa decimal (DOUBLE) del peso del paciente
6. estatura: representación cuantitativa decimal(FLOAT) de la estatura del paciente
7. tipo sangre: secuencia de 3 caracteres como máximo para representar el tipo de sangre de un paciente.
8. fecha nacimiento: dato del tipo 'DATE' que sirve para representar la fecha de nacimiento del paciente
9. tension arterial: representación cuantitativa decimal (DOUBLE) de la tensión arterial del paciente
10. estado\_paciente: Representación de un solo carácter que representa el estado actual del paciente.

## **3.2 Interfaces**

### **3.2.1 Descripción**

Las siguientes interfaces pertenecen a una aplicación de escritorio de un hospital en específico que trabajaría en una intranet.

Debido a la situación actual de la pandemia que azota el país entero, vimos conveniente tener datos cuantitativos y cualitativos relevantes en la interfaz. Pues de acuerdo a ello se podrá almacenar los datos de los pacientes en tiempo real de su situación actual, la cantidad de respiradores con las que cuenta el hospital. Además de que con los datos guardados se pueda generar y brindar un dataset a futuro, para futuros estudios y mejorar la capacidad de respuesta.

### **3.2.2 Esquema de Mock-ups**

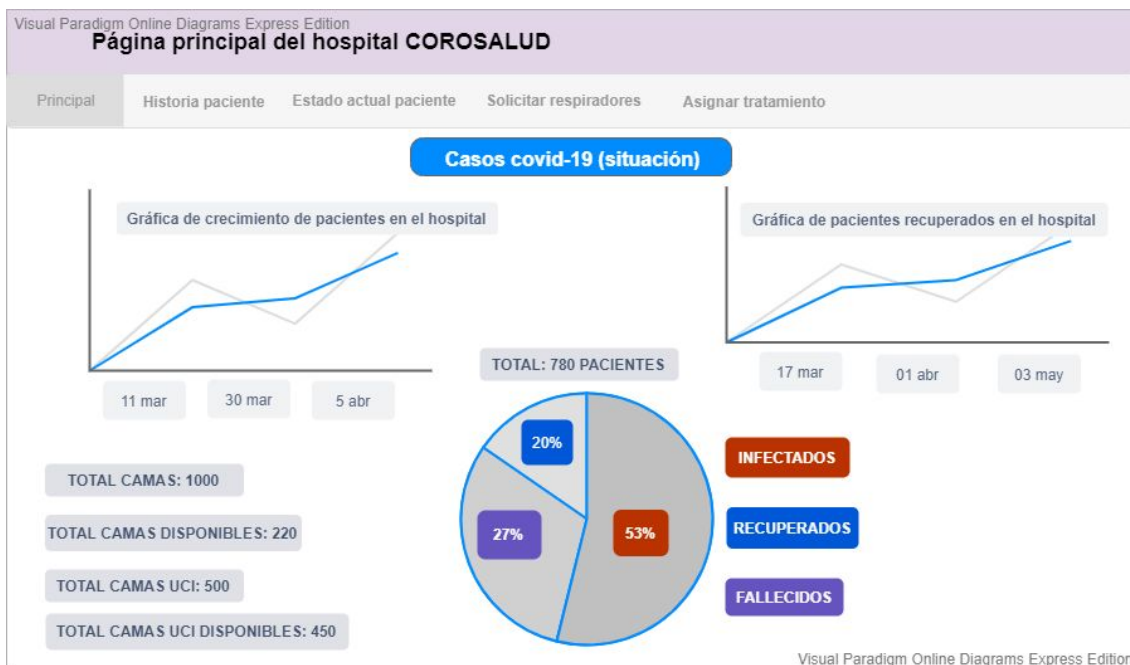
#### **a. Página principal**

Es la primera interfaz que se mostrará en el programa. Se muestran datos estadísticos de la situación actual del hospital con respecto al coronavirus(covid-19). Se muestra una gráfica de crecimiento de pacientes por covid-19, una gráfica de recuperados por días.

Un diagrama circular que muestra los porcentajes de infectados, recuperados y fallecidos; y en la parte superior se muestra el total de pacientes internados con esta enfermedad.

También se muestra las cantidades de camas normales y en UCI, también las camas disponibles de éstos.





**Fig 9. Interfaz de la página principal**

b. Consulta de paciente

Es la interfaz donde se realizará consulta sobre el paciente, para poder ver su historia clínica y/o estado actual del paciente.

Pues solo se ingresa el número de documento del paciente o el código de historia clínica.

Visual Paradigm Online Diagrams Express Edition

### Solicitar historia clínica del paciente

BIENVENIDO A CONSULTAS DE COROSALUD

Ingresa el código del historial o el DNI del paciente

2156325

Regresar    Consultar

Visual Paradigm Online Diagrams Express Edition

**Fig 10. Interfaz de la consulta al paciente**

c. Historia clínica sobre el paciente:

En esta interfaz se muestra datos personales del paciente y datos médicos sobre el internamiento del paciente.

Visual Paradigm Online Diagrams Express Edition

### Historia clínica sobre el paciente

Código de historia clínica	125684521	Fecha de ingreso	20/03/2020	Fecha estimada salida	05/04/2020	Fecha de salida	--/--
Tipo de documento	DOCUMENTO NACIONAL DE IDENTIDAD	Centro Medico	COROSALUD	Habitación	A205	Cama	10
Nro de documento	00002222	Estado paciente	INTERNADO	Área	UCI	Condición paciente	GRAVE
Nombre completo	CIRIO PALACIO DE LA TORRE	Motivo de consulta y/o internamiento	TOS SECA, FIEBRE Y FATIGA				
Fecha de nacimiento	02/04/1981	Edad (años)	39				
Sexo	M	Tipo de sangre	O-				
Estado civil	CASADO						
Enfermedad detectada		CORONAVIRUS (COVID-19)					

Ver anterior Ver siguiente

Visual Paradigm Online Diagrams Express Edition

Fig 11. Interfaz de la historia clínica del paciente

Visual Paradigm Online Diagrams Express Edition

### Historia clínica del paciente

<b>Antecedentes del paciente</b>	<b>Datos tomados del paciente al ingresar</b>			
<b>Alergias</b>	Peso	Unid.	Estatura	Unid.
PENICILINA, PICADURA DE INSECTOS	80	Kilogramos	1.78	metros
<b>Hábitos</b>	Tensión arterial	Unid.	Frecuencia cardíaca	Unid.
Alcohol: 5 días a la semana	15	mm/Hg	80	lat/min
Drogas: NUNCA	Frecuencia respiratoria	Unid.		
Ejercicio: 1 de cada 2 días	20	rpm		
<b>Enfermedades (antecedentes)</b>	Medida			
Infancia: ASMA	INTERNAMIENTO INMEDIATO			
<b>Últimos tratamientos</b>	Ver anterior	CERRAR		
Contra Helicobacter Pylori				
Fecha último tratamiento				
05/10/2019				

Visual Paradigm Online Diagrams Express Edition

Fig 12. Interfaz de la historia clínica del paciente

d. Estado actual del paciente

Aquí se muestra datos personales y parámetros vitales del paciente internado.

Visual Paradigm Online Diagrams Express Edition

### Estado actual del paciente

**Datos personales**  
**Nro de documento**  
00002222  
**Nombre completo**  
CIRIO PALACIO DE LA TORRE  
**Fecha de ingreso**  
20/03/2020  
**Edad (años)**  
39  
**Tipo de sangre**  
O-  
**Sexo**  
M

**Datos tomados del paciente internado**  

<b>Peso</b>	Unid.	<b>Estatura</b>	Unid.
80	Kilogramos	1.78	metros
<b>Tensión arterial</b>	Unid.	<b>Frecuencia cardíaca</b>	Unid.
15	mm/Hg	80	lat/min
<b>Frecuencia respiratoria</b>	Unid.	<b>Presión parcial de oxígeno arterial</b>	
20	rpm	150 mmHg	
<b>Saturación oxígeno</b>		<b>Fracción inspirada oxígeno</b>	<b>Tiempo de llenado capilar</b>
96%		50%	2.5 segundos
<b>Temperatura cutánea</b>		<b>Láctato Sérico</b>	
38 °C		2 mmol/L	

  
**Regresar**

Visual Paradigm Online Diagrams Express Edition

Fig 13. Interfaz del Estado Actual del paciente

e. Asignar tratamiento

Aquí se muestra la asignación del tratamiento, del lugar donde estará ubicado, los doctores y enfermeros responsables y la enfermedad que padece el paciente.

Visual Paradigm Online Diagrams Express Edition

### Asignar tratamiento

**Numero de documento**  
00002222  
**Nombre completo**  
CIRIO PALACIO DE LA TORRE  
**Habitación**  
A250

**Fecha de internamiento**  
20/03/2020  
**Tipo de tratamiento**  
tratamiento contra covid-19  
**Numero de cama**  
10

**Enfermedad**  
CORONAVIRUS (COVID -19)

**Doctores responsables**  
Maryanne x Lisa Hill x  
**Enfermeros responsables**  
Maryanne x Lisa Hill x

**CANCELAR** **ASIGNAR**

Visual Paradigm Online Diagrams Express Edition

Fig 14. Interfaz para Asignar Tratamiento

f. Solicitud de respiradores artificiales

Muestra la cantidad de respiradores usados, los que están en UCI y los que necesitarán, por ende, se solicitarán a las personas respectivas. Y aparte muestra una gráfica de la demanda de respiradores y posibles predicciones de estos mismos más adelante.

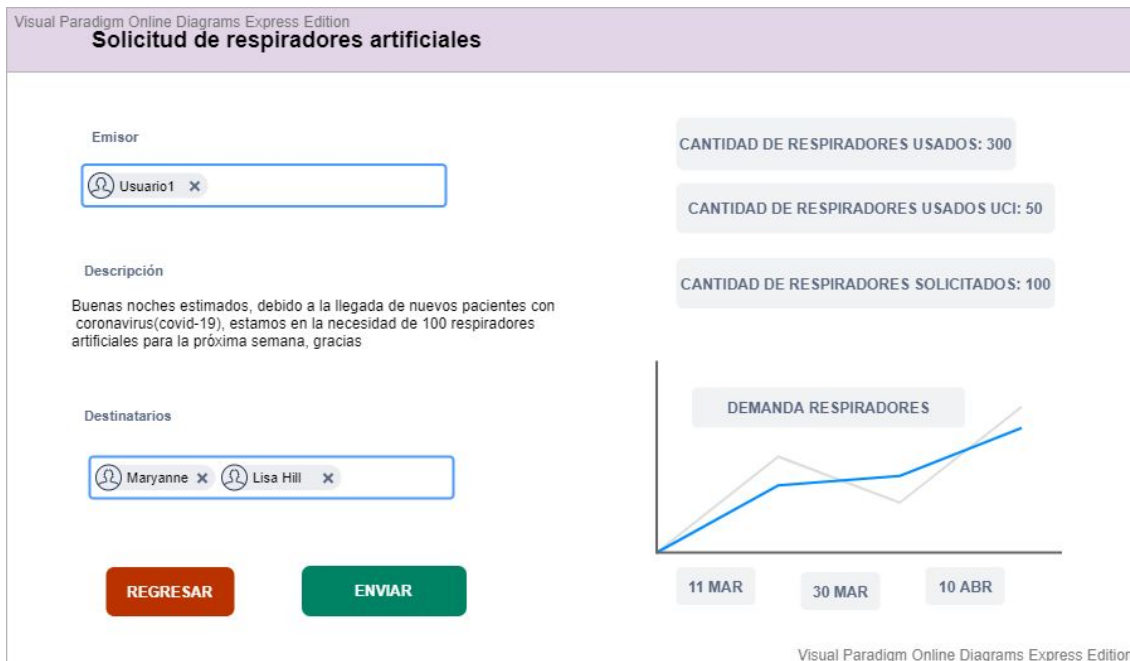


Fig 15. Interfaz de Solicitud de respiradores artificiales

### 3.3 Modelo de machine learning para la toma de decisiones médicas en ventilaciones mecánicas

#### 3.3.1 Antecedentes

Este sistema resulta innovador en el campo de machine learning en sistemas de monitoreo y ventilación (ver referencia [5]). Aun así, podemos citar casos de éxito en detecciones de enfermedades antes de ser diagnosticadas como insuficiencia renal con una predicción mayor al 95% (ver referencia [6] ) y la capacidad de reducir en un 20% las muertes en casos de cáncer pulmonar (ver referencia [7] ) . Estimamos una reducción de la tasa de mortalidad en un mínimo de 5% siendo conscientes que depende de la cantidad de pacientes que se vayan procesando para entrenar un dataset de predicción y tener un amplio repertorio de búsqueda de antecedentes.

#### 3.3.2 Técnicas

Las técnicas usadas serían principalmente dos:

- **Modelo de clasificación** para la predicción de alguna situación crítica de algún paciente.
- **Clustering** para la diferenciación de diferentes características y una mejor búsqueda de pacientes con situaciones similares.

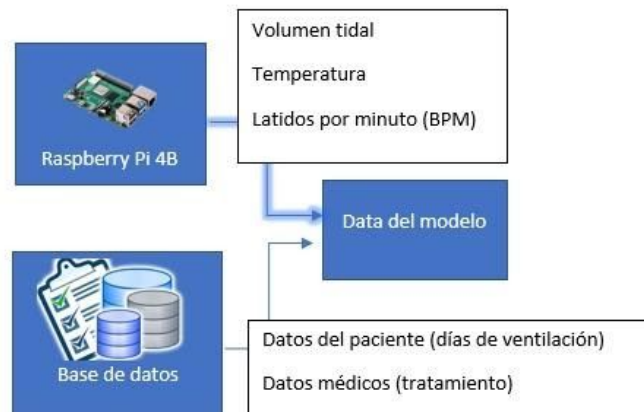
Actualmente, el aprendizaje automatizado (machine learning) viene siendo de gran aporte al campo de la medicina en varios países. Siendo un claro ejemplo la mejora en la predicción de enfermedades antes de ser diagnosticadas. Logrando que el efecto de esta sea más leve o hasta incluso se logre evitar.

Gracias a la digitalización de nuestro sistema de ventiladores por medio de nuestra base de datos y Raspberry podremos recolectar datos sensorizados importantes a través del tiempo y hacer uso inteligente de ello. Teniendo en cuenta esta data médica se podrá hacer modelos para alertar al médico de un alto riesgo de alguna nueva aparición de enfermedad o empeora del caso. Contribuyendo así a la toma de decisiones para el tratamiento al paciente.

#### 3.3.3 Sobre el modelo

El modelo de machine learning, básicamente, aprendería de las situaciones que están pasando las personas en cada ventilador por datos documentados y digitalizados. Teniendo en cuenta registros de enfermedades que resultaron en ellos, situaciones de intubación o extubación en el ventilador, tratamientos, información categórica del paciente, etc (ver figura 16). Además de contar con

los datos medidos por el ventilador mecánico a través de los sensores enviados por el microprocesador Raspberry.

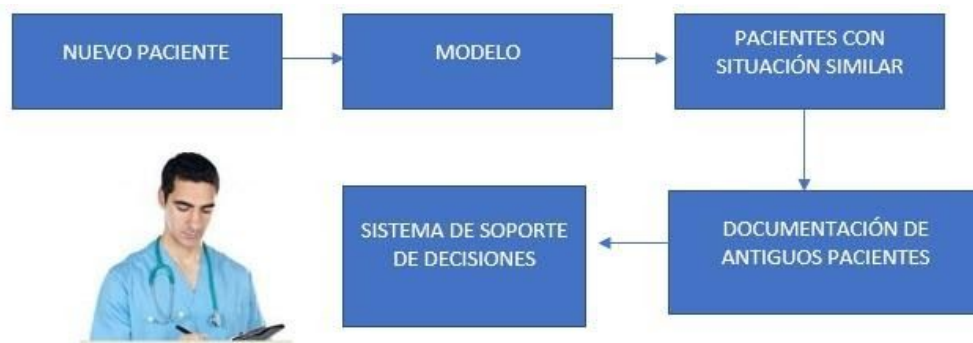


**Fig 16. Esquema de flujo de datos para alimentar el modelo.**

Entonces el algoritmo brinda información de las medidas tomadas de casos anteriores de pacientes con situación muy parecida al del nuevo paciente.

En el caso de que el paciente haya afrontado un futuro negativo (enfermedad crónica o muerte), el médico podrá tomar una precaución tal como se logra hacer en la detección de enfermedades explicadas en un principio.

Y en el mejor de los casos, de encontrar un caso de un tratamiento positivo el médico podrá replicarlo o tomarlo de antecedente de éxito.






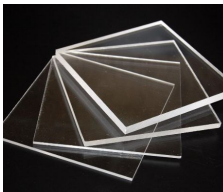

**Fig 17. Diagrama de flujo de Modelo de Machine Learning**

La implementación del modelo sería en un computador donde se registre un nuevo paciente mediante el cual el modelo pueda procesar sus valores iniciales (Gráfico 2). De acuerdo a ello el modelo nos brindará a los pacientes con las situaciones más similares tras un cierto grado de validación. Finalmente, el sistema de base de datos nos brindará la documentación de aquellos pacientes para tomarlo de referencia.


## 4. Costos y presupuestos

En la siguiente tabla se puede apreciar todos los componentes electrónicos y piezas mecánicas utilizados para la propuesta.

Item	Nombre	Descripción	Imagen referencial	Precio (soles)
1	Pantalla De 5" Hdmi Para Raspberry Pi 3	Es pequeño y simple, se puede utilizar esta pantalla con cualquier computadora que tenga salida HDMI, y su forma lo hace fácil de colocar en un case o en carcasa.		190.00
2	Kit Raspberry Pi 4 Model B 4gb Ram	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Raspberry Pi 4 Model B de 4GB RAM</li> <li>- Case de plástico PLA con ventilador 5V</li> <li>- Disipadores de aluminio (2 piezas)</li> <li>- Fuente 5V 3A USB tipo C</li> </ul>		339.00
3	Teclado Matricial 4x4 Para Arduino Y Pic Makercreativostor	"Especificaciones Voltaje de Alimentación Máximo 24V Corriente de Alimentación Máxima 30mA"		7.00
4	Termofil para evitar contacto, cables y cinta aislante	Protección		20.00
5	Sensor de Temperatura LM35	Para monitoreo de temperatura en la axila		6.00
6	MPXV7002DP	Para hacer un espirómetro		50.00

7	DESIGNFLEX PSF100A SERIES	Pressure / Vacuum / Differential switches Set Points from 0.1" to 50.0" H2O Patented shock and vibration resistance Miniature size, lightweight, low cost		6.00
8	MOTOR DC	Motor modelo ET-WGM46 con certificación: CE, Rohs, ISO9001; ISO14001 con torque de 30kg.cm		100.00
9	Driver L298N	Neuftech L298N Dual H Puente DC de Conductor del Motor de Pasos		23.00
10	Plancha de Acrílico	Plancha para la estructura externa de nuestro ventilador inteligente. 4mm X 1.20m X 2.40m		200.00
11	Servicio de corte láser	Servicio para obtener las piezas armables de la parte estructural (CASE)	---	20.00
12	Bloque de acero 4320 / Barra de acero.	3 Bloques de 7x7x7 cm 2 barras de 1/4"		80.00



13	Servicio de mecanizado (Fresadora y Torno)	3 engranajes de dientes rectos y 2 ejes		60.00
			<b>Total</b>	1101.00

### **Comparación respecto a soluciones ya existentes:**

La mayoría de soluciones de bajo costo ya existentes en la actualidad con respecto a respiradores artificiales deberían considerar:

- Precio.
- Facilidad de construcción.
- Confiabilidad y sostenibilidad en el tiempo

### **Respecto al precio**

En comparación con los respiradores artificiales que existen en la actualidad el precio de este ventilador artificial está muy por debajo de los ventiladores industriales que se producen para hospitales que llegan a tener un monto de entre **10000-50000 dólares** y demoran mucho tiempo en importarse.

### **Respecto a la facilidad de construcción**

La facilidad de construcción de este respirador radica en su diseño simple de componentes y su fácil ensamblaje. La parte estructural del prototipo está conformado por una caja de armado sencillo, el mecanismo por engranajes y un eje con guía de tornillo sinfín fácil de mecanizar. Por último en el material a usarse que se estima para la estructura externa acrílico y para el mecanismo de transmisión acero de bajo carbono comercial localmente.

### **Respecto a la confiabilidad y sostenibilidad en el tiempo**

Este proyecto utiliza un microprocesador Raspberry Pi 4 que tiene integrado varios módulos que permiten desempeñarse adecuadamente en el control directo de los elementos electrónicos sin depender de conexiones a módulos adicionales. Asimismo, al ser la Raspberry un procesador con muchas funcionalidades le permite desarrollar eficientemente varias tareas a la vez sin retrasarse o sufrir pérdida de paquetes de datos.

## 5. Adaptabilidad de la solución ca monitores UCI

En caso de que otro respirador artificial más eficiente y menos costoso fuese a implementarse, consideramos que la propuesta de la recolección de mediciones de sensores, base de datos y modelo de machine learning para dar soporte a los tratamientos de un paciente COVID-19 estaría perfectamente adaptable a cualquier otro tipo de sistema presente en el mercado actual. Para ello, tomando como referencia un tipo de Unidad UCI standard en el mercado.



### 6 multiparameter Portable Patient monitor for emergency ICU

1. Display: 12.1" color TFT screen, high resolution: 800×600 dpi;
2. 6 Parameters: Standard – 5-lead ECG/HR, NIBP, SPO2, Temp., Resp., PR; Optional – 3/12-lead ECG, single/double IBP, double Temp., Sun Tech NIBP, Masimo/ Nellcor Spo2, ETCO2,BIS,CO;
3. Patient Range: Suitable for Adult, Pediatric, Neonate;
4. Multi-display interface: Standard, Large font, Trend Coexist, OxyCRG dynamic, 7 full ECG waveforms;
5. Language: Built-in 8 language for choose (English, Chinese, Turkish, Spanish, French, Russian, German, Italian);
6. Review: Maximum 720h tabular and graphic trends of all parameters, 1000NIBP records and 200 alarm event;
7. Battery: Built-in 2 hours rechargeable lithium battery, and battery volume display, 4 hours rechargeable lithium battery (optional);
8. Network: TCP/IP networking platform, connect with central monitoring system. Wifi central monitoring system (optional).

**Fig 18. Modelo de UCI extraído de una página (Ver referencia [8] )**

Podemos apreciar en el **apartado 8** que estos equipos tienen protocolos de comunicación TCI/IP o Wifi, lo cual permite que toda la data recolectada por esta unidad se pueda transmitir mediante una red local, a nuestra base de datos, ser presentada en la interfaz y acompañarla de un soporte de tratamiento. Consideramos que esta propuesta tiene un gran potencial y puede aportar mucho en el camino de la digitalización de los sistemas informáticos de salud y hacer muchísimos procedimientos más eficientes en los hospitales. **Estamos seguros que el COVID-19 no derrotará a la humanidad y mucho menos a nuestro querido Perú.**

## 6. Referencias

- [1] The Center for Safety, Simulation and Advanced Learning Technologies - University of Florida Health (2020) '**Open Source Ventilator Project/Open Source, Open Architecture Ventilator Engineering Design Specifications**'. Estados Unidos - Florida. (Consultado el 2 de abril de 2020) Disponible en: [https://simulation.health.ufl.edu/technology-development/open-source-ventilator-project/?fbclid=IwAR3RQQbSJF0uOcyVH\\_wWMgoSn8KTzkCcbJdqtAbubKV7Ur3AA-RGTdXCYM4](https://simulation.health.ufl.edu/technology-development/open-source-ventilator-project/?fbclid=IwAR3RQQbSJF0uOcyVH_wWMgoSn8KTzkCcbJdqtAbubKV7Ur3AA-RGTdXCYM4)
- [2] Foro en Raspberrypi.org (2019) '**Operating 24/7**'. (Consultado el 3 de abril de 2020) Disponible en: <https://www.raspberrypi.org/forums/viewtopic.php?t=234760>
- [3] Society of Critical Care Medicine and Wolters Kluwer Health (2020) '**Surviving Sepsis Campaign: Guidelines on the management of critically ill Adults with Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)**' (pág 5 y 6). DOI: 10.1097/CCM.00000000000004363
- [4] Foro en howchoo.com (2019) '**How to Control a DC Motor (Or Motors) Using Your Raspberry Pi**'. (Consultado el 3 de abril de 2020) Disponible en: <https://howchoo.com/g/mjg5ytzmnjh/controlling-dc-motors-using-your-raspberry-pi>
- [5] Guillermo Gutierrez (2020) '**Artificial Intelligence in the Intensive Care Unit**'. Revista Critical Care (Consultado el 4 de abril de 2020) Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s13054-020-2785-y>
- [6] Redacción Farmacosalud.com (2019) '**La inteligencia artificial puede predecir la mortalidad en pacientes renales**'. (Consultado el 4 de abril de 2020) Disponible en: <https://farmacosalud.com/la-inteligencia-artificial-puede-predecir-la-mortalidad-en-pacientes-renales/>
- [7] The National Lung Screening Trial Research Team (2011) '**Reduced Lung-Cancer Mortality with Low-Dose Computed Tomographic Screening**'. The New England Journal of Medicine. DOI: 10.1056/NEJMoa1102873
- [8] Adonyss (2020) [en línea] **Adonyss MSL ICU Patient Monitor** (Consultado el 4 de abril de 2020) Disponible en:

<https://adonyss.com/product/adonyss-mslcu-patient-monitor>

**Otras referencias y links:**

[9] *Especificaciones de las bolsas Ambu (Consultado el 4 de abril de 2020)*

Disponible en:

<https://www.ambu.es/productos/anestesia/resucitadores/productos/ambu-oval-silicone>

[10] *Diseño de mecanismo de tornillo sinfín (Pág 50)* Disponible en:

<https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/19809/1/DISE%C3%91O%20DE%20MECANISMO%20DE%20TORNILLO%20SIN%20FIN.%20SERGIO%20GONZ%C3%81LEZ.pdf>

[11] *Motor a usarse.* Disponible en:

<https://spanish.alibaba.com/product-detail/gear-motor-dc-motor-70-rpm-24v-dc-motors-62312858916.html?spm=a2700.8699010.normalList.7.1c9320ab71NGaZ>