

# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ALGORITMO PARA LA ASIGNACIÓN DE ESTACIONES DE TRABAJO CON METODOLOGIA DE TARJETAS CON GEL PARA PRUEBAS INMUNOHEMATOLÓGICAS

## DESIGN AND IMPLEMENTATION OF ALGORITHM TO ALLOCATE WORK STATIONS WITH GEL CARD METHODOLOGY FOR IMMUNOHEMATOLOGICAL TESTS

AUTORES: SHARON CUBAS<sup>1</sup>, ERNESTO IBARRA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de la Escuela de Ingeniería Biomédica de la Universidad Latina de Panamá. <sup>2</sup>Docente de la Escuela de Ingeniería Biomédica de la Universidad Latina de Panamá

Correos: [cubassharon@hotmail.com](mailto:cubassharon@hotmail.com); [ernestoibarra@ulatina.edu.pa](mailto:ernestoibarra@ulatina.edu.pa)

Recibido: 10 de junio de 2019

Aceptado: 21 de junio de 2019

### Resumen

#### PALABRAS CLAVE:

*Bio-Rad, Biomédica, estaciones de trabajo, bancos de sangre.*

La presente investigación tiene como objetivo diseñar e implementar un algoritmo de apoyo para la asignación de estaciones de trabajo para pruebas inmunohepatológicas, basadas en la metodología Bio-Rad, el cual permita elegir la mejor opción entre las estaciones disponibles. En Panamá, la asignación de estas estaciones de trabajo se realiza tomando en cuenta varios aspectos del banco de sangre como: su tamaño, cantidad de donantes, cantidad de pacientes y presupuesto. En ocasiones la toma de esta decisión no es tan evidente, por lo cual se pueden presentar errores que pueden ocasionar desde la adquisición de equipos inadecuados hasta impactar negativamente en la productividad del banco de sangre. En este contexto, se desarrolló una metodología intuitiva y rápida que brinda apoyo al asesor técnico en esta tarea, utilizando solamente la cantidad de donantes atendidos durante el año anterior. La metodología se estructuró en forma de algoritmo y se desarrolló en el lenguaje de programación C++. El sistema para la asignación de estaciones de trabajo se probó en ocho bancos de sangre ubicados en hospitales públicos de la república de Panamá. Después de la aplicación del algoritmo, se pudo observar que el 37.5% de los bancos de sangre estudiados contaban con estaciones de trabajo que no iban de acuerdo a su carga de trabajo actual. Como primera aproximación, el algoritmo ha demostrado practicidad y rapidez para el apoyo en la asignación eficiente de las estaciones de trabajos para pruebas inmunohepatológicas.



Este artículo está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

**KEYWORDS:**

*BIO-RAD,  
Biomedical, work  
stations, blood  
banks.*

**Abstract**

The purpose of this research is to design and implement a support algorithm for work stations assignment for immunohematological tests, based on the BIO-RAD methodology, which allows choosing the best option among the available stations. In Panama, the allocation of these work stations is done by taking into account various aspects of the blood bank such as: size, number of donors, number of patients and budget. Sometimes the decision making is not so obvious, which can generate errors that can cause from the acquisition of inadequate equipment to negatively impact the productivity of the blood bank. In this context, an intuitive and rapid methodology was developed that provides support to the technical advisor in this task, using only the number of donors assisted during the previous year. The methodology was structured in the form of an algorithm and was developed in the C ++ programming language. The system for assigning work stations was tested in eight blood banks located in public hospitals of the Republic of Panama. After the application of the algorithm, it was revealed that 37.5% of the blood banks studied had work stations that were not according to their current workload. As a first approximation, the algorithm has demonstrated practicality and speed for the support in the efficient assignment of work stations for immunohematological tests.

**INTRODUCCIÓN**

El principal objetivo de una unidad de medicina transfusional y banco de sangre es la selección de donantes, recolección, análisis, procesamiento, almacenamiento y la distribución de la sangre y sus componentes. El banco de sangre es responsable de realizar pruebas en el donante y en el paciente receptor de la unidad de sangre.

El proceso de recolección de una unidad inicia con la extracción de una muestra de sangre proveniente de un donante, la cual es colocada en un tubo con anticoagulante. A la muestra extraída se le realiza un hemograma completo que determinará si el donante cumple con todos los criterios necesarios como: el conteo de glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas. Posteriormente, si la muestra cumple con los criterios se realizará la extracción de 450 centímetros cúbicos de sangre del donante a una bolsa simple para recolección de sangre con preservante y segmentos de recolección (Cruz Roja Española).

Estos segmentos, con parte de la muestra extraída, serán sometidos a diversas pruebas una de las cuales es la inmunoematológicas. Las pruebas inmunoematológicas sirven para determinar aspectos como:

- La agrupación ABO: mejor conocido como el tipaje de sangre. Prueba que determina el grupo sanguíneo, sea este A, B, AB u O.

- La clasificación Rh: prueba para determinar la presencia de antígenos Rh. Esta clasificación puede ser positiva en presencia de la proteína Rh o negativa en su ausencia.
- El rastreo de anticuerpos irregulares: prueba que determina la presencia de distintos sistemas de anticuerpos sensibilizados in-vitro, es decir, que identifica si el paciente o donante ha desarrollado anticuerpos debido a transfusiones anteriores de hemocomponentes.

La realización de estas pruebas es importante para establecer la compatibilidad de la unidad de sangre extraída con el receptor. Actualmente, estas pruebas inmunohematológicas son realizadas por equipos biomédicos que dependiendo su nivel de automatización necesitarán más o menos intervención de un laboratorista clínico. Existen varias metodologías para la realización de pruebas inmunohematológicas. Nuestra investigación se centrará específicamente en la metodología basada en tarjetas con gel. Esta consiste en utilizar una tarjeta con pocillos que contiene distintos tipos de gel que, al centrifugarse, y en ciertas ocasiones incubarse, con plasma o glóbulos rojos arrojarán una reacción interpretable de acuerdo a la prueba que se realice.

En Panamá, una de las marcas más comercializadas de esta metodología de gel es Bio-Rad. Las tarjetas con gel utilizan equipos diseñados especialmente para trabajar con las mismas. Estos equipos son denominados estaciones de trabajo y son clasificados según su nivel de automatización o complejidad. Existen tres tipos de automatización que se pueden relacionar con las estaciones de trabajo para pruebas inmunohematológicas, siendo estas: Estaciones de trabajo manuales, Estaciones de trabajo semiautomatizadas, y Estaciones de trabajo automatizadas.

Los equipos que dependan completamente de un operario para su pipeteo e interpretación serán denominados estaciones de trabajo manuales. Mientras que, los que puedan ser pipeteados e interpretados por dos equipos con la intervención del operario para el transporte de las tarjetas, serán llamados estaciones de trabajo semiautomatizadas; y los equipos que no necesiten en absoluto de un operario serán llamados estaciones de trabajo automatizadas.

En Panamá, la empresa DiaMed es el distribuidor exclusivo de los equipos de inmunohematología de la marca Bio-Rad. Es por ello, que los asesores técnicos de dicha empresa son los encargados de la asignación de las estaciones de trabajo a los distintos bancos de sangre de nuestro país. Los asesores técnicos deben tomar en cuenta múltiples variables para realizar la correcta asignación de una estación de trabajo. En el caso de una asignación inadecuada, se pueden producir afectaciones al servicio del banco de sangre,

pudiendo causar daños económicos, así como también disminuir su rendimiento y la productividad.

La asignación de las estaciones de trabajo es una tarea rutinaria de los asesores técnicos la cual no está exenta de errores humanos. Actualmente las asignaciones de estaciones de trabajo son realizadas sin el apoyo de alguna herramienta, ni procedimiento preestablecido.

El proyecto desarrollado tiene como alcance el diseño e implementación de un algoritmo para la asignación de estaciones con metodología de tarjetas con gel. Esta metodología, actualmente es la más utilizada en los principales bancos de sangre de los hospitales en la República de Panamá.

## Desarrollo

### Adquisición de Equipos Médicos

El proceso de adquisición de equipos médicos es una labor compleja. Por lo que la Organización Mundial de la Salud (O.M.S.), ente encargado de gestionar políticas de prevención, promoción e intervención en salud a nivel mundial define este proceso como: *“Una tarea compleja y requiere un procedimiento transparente basado en criterios racionales, en datos científicos y en la evaluación de las necesidades de salud pública prioritarias...”*. Dicha organización advierte que *“... Las decisiones equivocadas tienen como consecuencia un uso inadecuado o la falta de uso de los dispositivos médicos y un despilfarro de recursos...”*, identificando problemáticas en el proceso de la selección racional del equipamiento médico como lo son *“... la fascinación por la tecnología, una mercadotecnia intensa, los costos altos y una información insuficiente sobre el dispositivo...”*. En este contexto la O.M.S. indica como posible solución al proceso de adquisición de equipos médicos *“... la mejora del acceso a información para la toma de decisiones y una mayor función de los ingenieros biomédicos u otros expertos equiparables...”*. (O.M.S. 2012, p.xi)

Varios autores han sistematizado el proceso de distintas maneras, por ejemplo, la autora Tania García Martínez (2008) elaboró el *“Procedimiento para evaluación y adquisición de tecnología médica”* el cual tiene como propósito mantener disponible y vigente la tecnología médica para proporcionar servicios de alta especialidad. El procedimiento que desarrolló la García Martínez consta de ocho (8) etapas para la adquisición de los equipos las cuales son: solicitud de renovación o adquisición de tecnología médica, evaluación de la necesidad, evaluación técnica de tecnología, elaboración de presupuesto, certificado de necesidad, autorización de presupuesto, elaboración de requisición y por último la adquisición de la tecnología. Cada etapa del proceso fue aplicada a un algoritmo para que su utilización fuese más fácil. En dicho artículo se pone de manifiesto la relevancia del uso

de algoritmos en procesos y métodos de adquisición de tecnología médica (Martínez, 2008).

En este orden de ideas, la autora Tatiana Molina presenta: *“Ingeniería Clínica para no ingenieros: adquisición de equipos médicos”*. Este artículo tiene como finalidad proveer al personal una guía básica que facilite el proceso de adquisición y manejo de la tecnología médica. Este autor describe doce pasos para la adquisición de equipos: definir las necesidades reales del hospital, identificar la tecnología que cubre la necesidad, crear requerimientos técnicos, obtener un presupuesto, obtener cotizaciones, presentar una propuesta, demostraciones de los equipos, evaluación de soporte e ingeniería, negociación de precio y soporte, instalación e inspección, capacitación y manejo del inventario. Nuevamente se adapta cada paso a un algoritmo con el fin de que sea de fácil comprensión y aplicación. De este artículo se puede concluir que para que una adquisición sea exitosa debe llevarse a cabo una correcta planeación y se deben tener en cuenta todos los aspectos que determinen el correcto funcionamiento del equipo (Molina, 2007).

Thalía Rivera (2016) presentó la tesis *“Recomendaciones para la adquisición de equipo médico en el sistema nacional de salud”* la cual tiene como objetivo presentar recomendaciones para la adquisición de equipamiento médico tomando como pilar múltiples casos de mala administración de los recursos en México. Dentro de las recomendaciones que se mencionan están: la evaluación de existencia del equipamiento y de las necesidades actuales, la población que se verá beneficiada con la adquisición, la cantidad de insumos que serán necesarios, aspectos técnicos del equipo o instrumento y presupuesto o recursos necesarios. Este documento presenta sugerencias de aspectos necesarios para evitar una mala asignación y uso de los recursos. Este autor propone fuertemente que se tomen en cuenta todos los aspectos que puedan afectar negativamente la asignación de las estaciones de trabajo (Rivera, 2016).

La O.M.S (2012) elaboró la *“Guía de recursos para el proceso de adquisición”*. Este documento tiene como objetivo servir de ayuda y estructurar el desarrollo de un proceso eficaz y transparente de adquisición de tecnologías sanitarias. Esta guía toma como referencia el modelo de ciclo de vida de la tecnología sanitaria para realizar procesos de adquisición y gestión. La O.M.S. estructura el proceso de adquisición de la siguiente manera: evaluación de la tecnología, evaluación de dispositivos, planificación y evaluación de las necesidades, adquisición, instalación, puesta en servicio y seguimiento. Esta guía concluye que cuando la asignación se lleva a cabo siguiendo esta estructura el personal realizará una labor clara aplicando las normas aceptadas (Guía de recursos para procesos de adquisición, 2012).

Continuando con esta temática, Gabriela Estrada presenta: *“La ingeniería biomédica en la gestión de equipo médico”* (2016) donde presenta tres etapas que conforman el sistema de

gestión de equipos médico. La primera etapa corresponde a la evaluación y adquisición, la segunda etapa es el uso del equipo y la tercera gestión del mantenimiento. Este documento tiene como finalidad crear estrategias que permitan la correcta asignación de equipos mediante el seguimiento y control de análisis que garanticen su viabilidad económica y técnica (Estrada, 2016). Por otra parte, O.L. Albert, et al (2001) presentan su trabajo *“Metodología para la adquisición de equipos médicos basados en experiencias prácticas”*. Dicho trabajo tiene como objetivo optimizar los recursos y asegurar la calidad de los servicios de la salud mediante experiencias acumuladas por algunas instituciones que hayan obtenido equipos médicos. Los autores alegan que es necesaria la creación de un grupo multidisciplinario integrado por: representantes gerenciales, especialistas médicos, representantes financieros e ingenieros de las especialidades objetos de la inversión (Albert, Tellez, & Cruz, 2001).

### **Algoritmos para apoyar a la toma de decisiones en salud**

Muchas estrategias para solucionar problemas pueden ser implementadas en forma de algoritmos de apoyo para la toma de decisiones. Por ejemplo, Fredi Alexander Diaz-Quijano et al (2008) presentaron un estudio titulado: *“Reducción de la hospitalización mediante un algoritmo de manejo del dengue en Colombia”*. Este estudio tenía como principal objetivo evaluar el efecto del uso de un algoritmo para el manejo de la tasa de hospitalización de probables pacientes con dengue en una institución de primer nivel en Colombia. El método consistía en recabar datos durante dos periodos, antes y después de la implementación del algoritmo. El algoritmo incluía: recomendaciones para el diagnóstico de los pacientes, sistema para la programación de consultas de control, criterios para hospitalización y suspensión del tratamiento. La muestra de este estudio incluía sólo pacientes que presentaran síndrome febril agudo. Durante el primer periodo, sin el algoritmo se obtuvo 44 hospitalizaciones y en el periodo que abarcaba el uso de algoritmo 13, reduciendo significativamente el número de hospitalizaciones por posibles dengues.

Este estudio sugiere que es factible optimizar los recursos de hospitalización en el manejo del dengue mediante el uso del algoritmo. En este estudio, los resultados sugieren que es posible optimizar procesos en los que puede haber error humano, mejorando tanto la utilización como la asignación de los recursos (Diaz-Quijano, Villar-Centeno, & Martínez-Vega, 2011).

En esta misma línea, Waldo Aaron Uribe Fache (2016) presentó el proyecto *“Implementación de software para la detección de daño renal agudo (aki)”* donde su objetivo era implementar un software para la detección de Insuficiencia renal aguda en el Hospital Clínico de la Universidad de Chile para caracterizar estadísticas sobre la incidencia de esta enfermedad. El autor diseñó un software con la siguiente metodología: un levantamiento general de requisitos, estudio de factibilidad, toma detallada de requisitos,

implementación del software, análisis y exposición de los resultados. Al terminar el estudio, el algoritmo concluyó que el daño renal agudo es una enfermedad sub-diagnosticada en el hospital de prueba (FACHE, 2016).

### **Metodología Bio-Rad para pruebas inmunohematológicas**

Bio-Rad es una empresa especializada en el desarrollo y manufactura de productos para diagnóstico clínico. La misma suministra productos y sistemas utilizados en procesos de separación de sangre y agentes biológicos complejos. Dicha empresa distribuye las tarjetas con gel y los equipos para el procesamiento de las mismas, entre otros insumos para lograr las reacciones deseadas.

Referente a la metodología Bio-Rad, Hustinx H, et al (2016) presentaron un estudio acerca de la *“Comparación de sensibilidad y especificidad de las tarjetas de identificación Bio-Rad LISS / Coombs con las tarjetas Grifols Gel Coombs en un enfoque manual”*. En dicha investigación se compara una misma metodología de tarjetas con gel de distintas casas comerciales para la prueba de identificación de anticuerpos. Esta investigación tuvo como objetivo comparar la eficacia de dos métodos similares utilizados por la mayoría de los laboratorios de inmunohematología en Suiza. Para lograr este objetivo se utilizaron 1001 muestras aleatorias y 200 muestras con anticuerpos previamente investigados escogidos por: su relevancia clínica, su débil reacción o reacción específica. Los materiales utilizados fueron tarjetas de Coombs juntos con 3 tipos de células de Bio-Rad y Grifols. Ambos sistemas de detección de anticuerpos mostraron un buen desempeño con una sensibilidad del 100% y con una especificidad de un 99.8% de las 1001 muestras analizadas (Hustinx H, 2016). Este trabajo se relaciona con la investigación en curso, ya que propone que el sistema de Bio-Rad cuenta con gran efectividad comparado con otros métodos similares. El sistema de Bio-Rad es utilizado por el 92% de los hospitales en Panamá mientras que el de Grifols sólo se utiliza en dos hospitales privados en todo el país.

Bio-Rad Medical Diagnostics GmbH (2016) publicó el Resumen 510(k) donde se muestra la efectividad y seguridad de las estaciones de trabajo automatizadas mediante la comparación con otro equipo equivalente que ya han sido aprobado por la Food and Drugs Administration (F.D.A), con el fin de introducirlo al mercado. Este estudio desarrolla la descripción del equipo y uso previsto de la estación de trabajo IH-1000. El IH-1000 es un equipo automatizado para realizar pruebas inmunohematológicas. Sus principales características tecnológicas fueron comparadas con el equipo ORTHO ProVue que es un equipo que cumple la misma función, pero de otra marca. Dicho estudio, también puso a prueba la reproducibilidad de los resultados del equipo en cuestión. En este estudio se concluyó, que el equipo IH-1000 es seguro, efectivo y equivalente a otros equipos que ya se encontraban en el mercado.

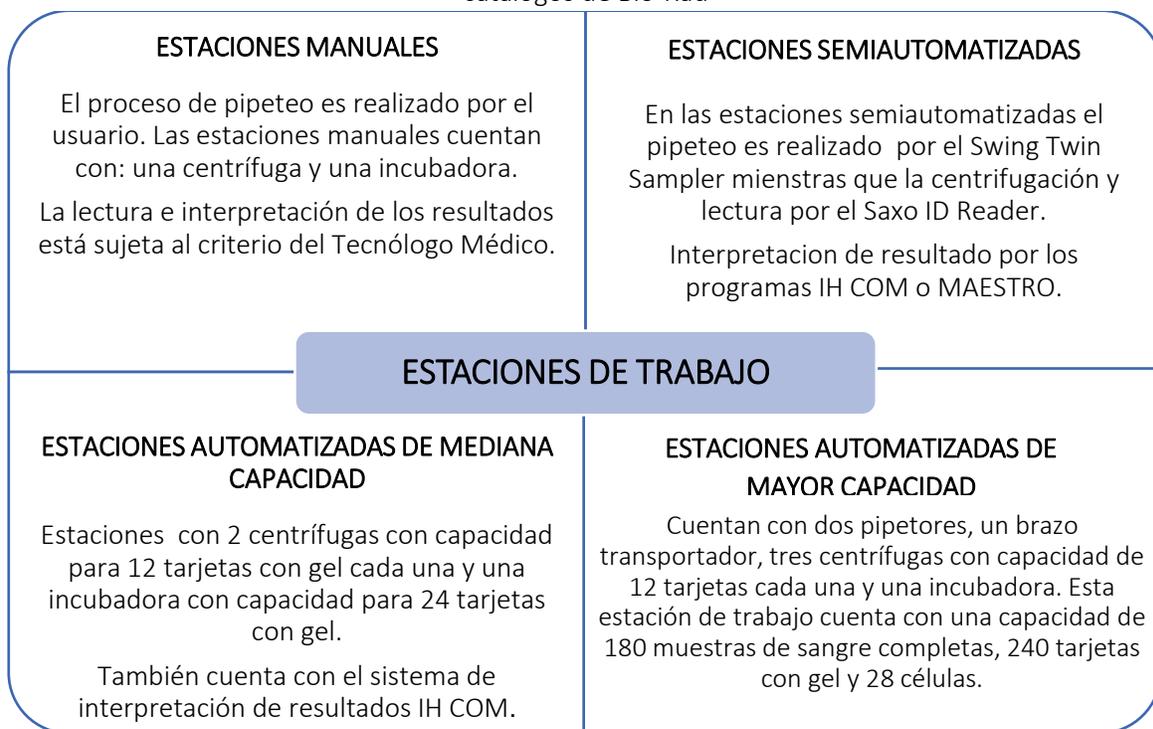
La relevancia de este estudio en la investigación se centra en el hecho que ya está demostrado que el equipo IH-1000, uno de los equipos más utilizados en las estaciones de trabajo automatizadas, es seguro para su uso (Bio-Rad, 2016). En Panamá, esta estación de trabajo automatizada se encuentra instalada en dos importantes centros hospitalarios públicos, del área metropolitana, los cuales son: el Hospital Santo Tomás, y el Complejo Hospitalario Metropolitano Dr. Arnulfo Arias Madrid.

### Estaciones de trabajo Bio-Rad

La estación de trabajo es un equipo o conjunto de equipos, de la marca Bio-Rad, que cumplen una función de procesamiento de muestras para pruebas inmunohematológicas. Las estaciones de trabajo se pueden clasificar en tres categorías: estaciones manuales, estaciones semiautomatizadas y estaciones de trabajo automatizadas. En la Figura 1, se muestran los equipos que componen las estaciones de trabajo.

Figura 1

Tipos de estaciones de trabajo según su nivel de automatización. Elaboración propia a base de catálogos de Bio-Rad



Fuente: Cubas & Ibarra (2019)

### Método

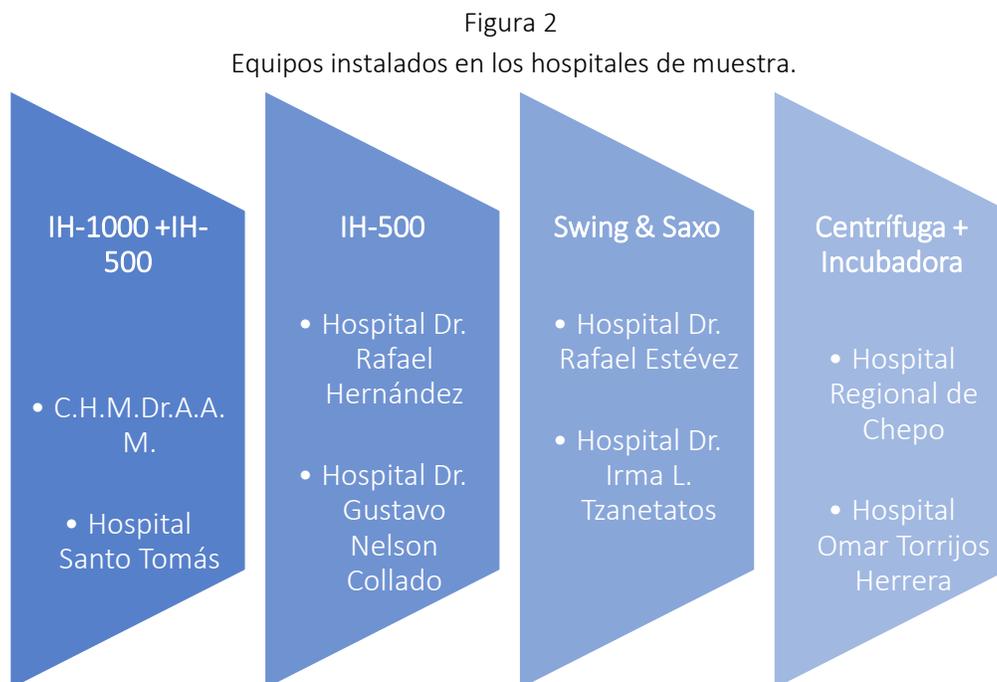
El objetivo del presente trabajo es diseñar e implementar un algoritmo de apoyo para la asignación de estaciones de trabajo para pruebas inmunohematológicas, según el volumen

de pacientes anuales. Como parte del estudio se analizará la situación actual en cuanto a equipamientos para la realización de pruebas inmunohematológicas para bancos de sangre en la República de Panamá; se implementará y comprobará el funcionamiento del algoritmo para la asignación de estaciones de trabajo en ocho bancos de sangre a nivel nacional.

Con el fin de poder comprobar el funcionamiento del algoritmo se seleccionó la muestra, la cual comprende los Bancos de Sangre del sector público que tengan implementados estaciones de trabajo con metodología de tarjetas con gel y que posean instalado el sistema informático E-delphyn. Para este estudio se realizó un cálculo de muestro por conveniencia. Se considera este tipo de muestreo, puesto que se escogieron bancos de sangre de los cuales contábamos con mayor accesibilidad a su base de datos para adquirir la información de la cantidad de donantes anuales, y de la estación de trabajo instalada.

El sector público en Panamá está compuesto por instituciones del Ministerio de Salud (MINSAL) y de la Caja del Seguro Social (C.S.S.). El MINSAL cuenta con dieciocho hospitales con bancos de sangre bajo su jurisdicción, de los que se tomó en cuenta uno para el estudio, que es el Hospital Santo Tomás (Ciudad de Panamá, Panamá). En cuanto a la C.S.S., cuenta con quince hospitales con bancos de sangre de los cuales utilizaremos siete, los cuales son: Complejo Hospitalario Metropolitano Dr. Arnulfo Arias Madrid, Hospital Dr. Rafael Hernández, Hospital Dr. Gustavo Nelson Collado, Hospital Dr. Rafael Estévez, Hospital Dra. Irma Tzanetatos, Hospital Regional de Chepo, y el Hospital Omar Torrijos Herrera.

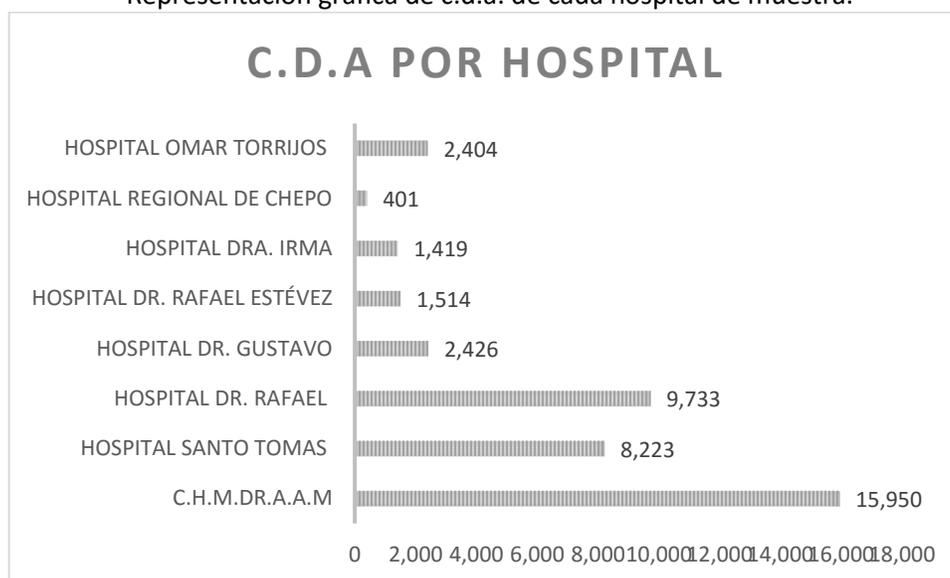
Los hospitales de la muestra fueron seleccionados de tal forma que se contara con los cuatro tipos de estaciones de trabajo como se muestra en la Figura 2.



Fuente: Cubas & Ibarra (2019)

Los registros de la cantidad de donantes aceptados por año (c.d.a.) serán obtenidos del sistema E-delphyn. Estos serán recolectados durante el periodo que comprende de enero a diciembre de 2017, es decir, un año. Este software es un sistema de gestión de datos para bancos de sangre desarrollado por la empresa Hemosoft. E-delphyn utiliza una plataforma web con una arquitectura Java N-Tier. Este sistema permite el control de la información tanto de los pacientes como donantes y permite a los usuarios obtener información detallada de los componentes sanguíneos. Edelphyn también cuenta con un módulo estadístico que almacena datos de años previos, como cantidad de donantes, cantidad de pacientes, donaciones rechazadas, entre otros (Ual Medical, 2017). El c.d.a. fue elegido como parámetro de entrada de nuestro algoritmo, puesto que es proporcional a la capacidad de procesamiento de muestras de las estaciones de trabajo. La c.d.a. de los ocho hospitales en estudio se muestra en la Gráfica 1.

Gráfica 1  
Representación gráfica de c.d.a. de cada hospital de muestra.



Fuente: Cubas & Ibarra (2019)

### Instrumento

Como se ha mencionado previamente en este estudio, la variable que se utilizará como entrada en el algoritmo es la c.d.a.. Un donante es una persona que voluntariamente accede a entregar algo que posee. Por lo que cantidad de donantes de sangre se interpretará como un valor numérico que representa el número de personas que dona sangre. Por lo anterior, se puede expresar c.d.a. de la siguiente forma:

$$c.d.a = \frac{c.d.}{U.Tiempo} + Idaf \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

c.d.a: cantidad de donantes anuales (donantes/año).

c.d.: registro o valor numérico referente a la cantidad de donantes (donantes).

U. Tiempo: unidad de tiempo (años).

Idaf: valor de incremento a futuro de donantes (donantes/años).

Teniendo en cuenta que los equipos se instalan en calidad de comodato, se contempla un incremento del 10% de donantes anualmente. Por lo que a los registros de c.d.a del 2017 se le sumarán este valor. Se añadió un valor de incremento a futuro puesto que se pretende que la estación de trabajo sea útil para el banco de sangre durante sus 10 años de vida. Por lo anterior el cálculo del Idaf se realizara como:

$$Idaf = \frac{c.d.}{U.Tiempo} \times \%Idaf_c \quad \text{Ecuación 2}$$

Cada estación de trabajo cuenta con un rango de procesamiento de muestras. Cada rango dispone de un límite inferior y un límite superior.

Tomando en cuenta que tenemos tres tipos de estaciones de trabajos, se deben generar los rangos para cada tipo de configuración, dependiendo de la capacidad de estas. Como podemos visualizar en la Tabla 1, para cada configuración de las estaciones de trabajo se obtiene un rango.

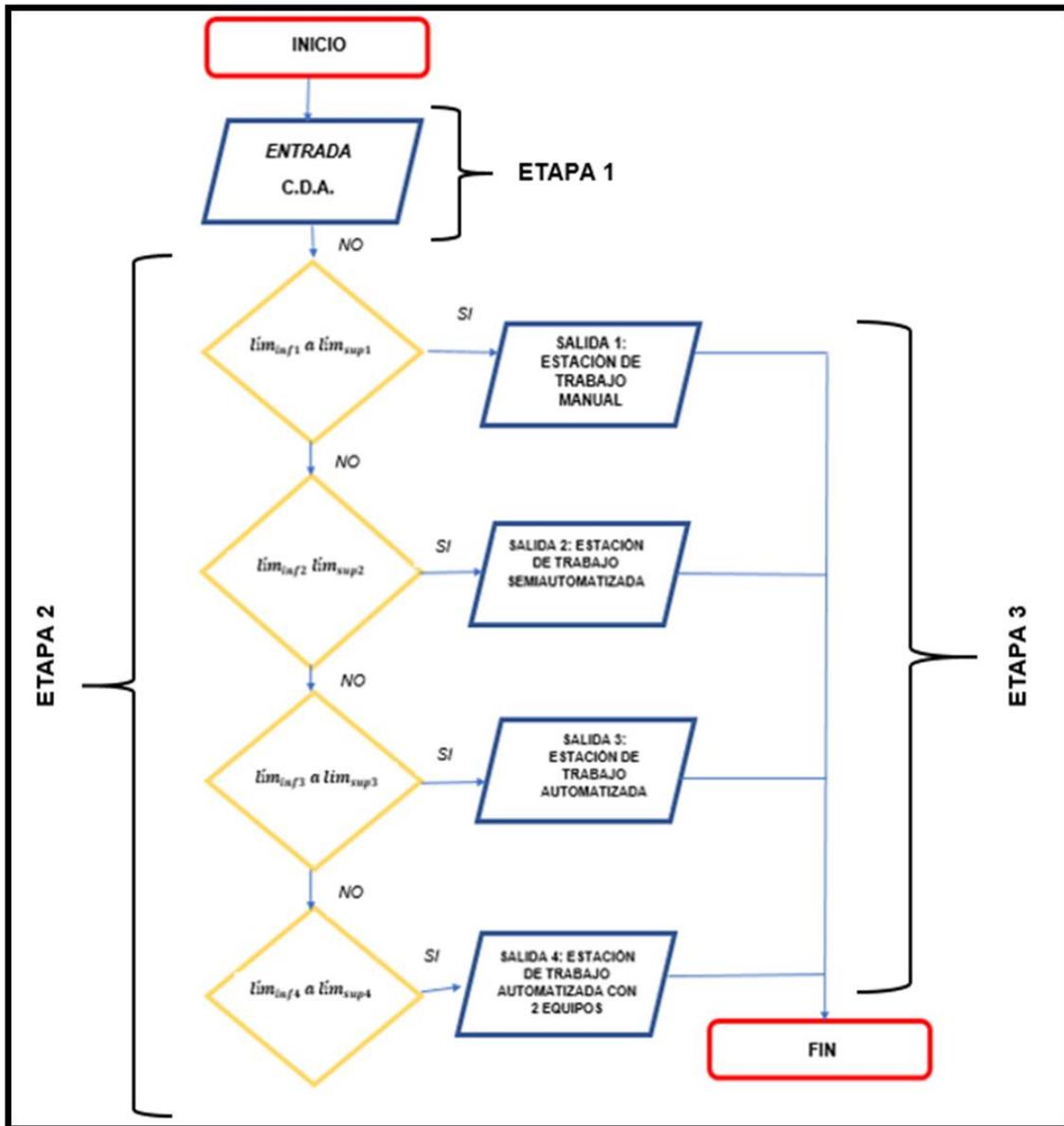
Tabla 1  
Rangos para las configuraciones de estaciones de trabajo.

No.	Estación de trabajo	Tipo de estación	Expresión de los rangos	Rango	
				$lím_{inf n}$	$lím_{sup n}$
1	Centrífuga + Incubadora	Manual	$lím_{inf1} a lím_{sup1}$	0	1000
2	S.T.S + Saxo	Semiautomatizada	$lím_{inf2} lím_{sup2}$	1001	2500
3	IH-500	Automatizada	$lím_{inf3} a lím_{sup3}$	2501	6000
4	IH-1000	Automatizada	$lím_{inf4} a lím_{sup4}$	6001	14,500

Fuente: Cubas & Ibarra (2019)

En cuanto al algoritmo, fue diseñado para que sea intuitivo y fácil de aplicar por el asesor técnico. Esta es la razón por la cual se eligió solamente una variable de entrada, puesto que con la misma se puede predecir las necesidades futuras del banco de sangre. En la estructura del algoritmo se pueden apreciar cuatro procesos de toma de decisiones, cada una con su respectiva salida. En la etapa 1 del proceso se debe introducir el valor de c.d.a. Posteriormente en la etapa 2, el valor del c.d.a pasará por el primer rango, si éste se encuentra dentro de los límites se obtendrá una salida (etapa 3), de no ser así se irá desplazando por cada rango hasta que encuentre uno adecuado y así se asignará la estación más apropiada según su necesidad. (Ver Figura 3).

Figura 3  
Algoritmo desarrollado



Fuente: Cubas & Ibarra (2019)

El entorno elegido para desarrollar el algoritmo fue DevC++ y el lenguaje utilizado fue C++. Con la programación del algoritmo se obtendrá una forma más dinámica de realizar el proceso de análisis para la asignación de estaciones de trabajo. El código del programa funciona de la siguiente manera:

1. Se introduce el c.d.a. *El programa leerá la entrada.*

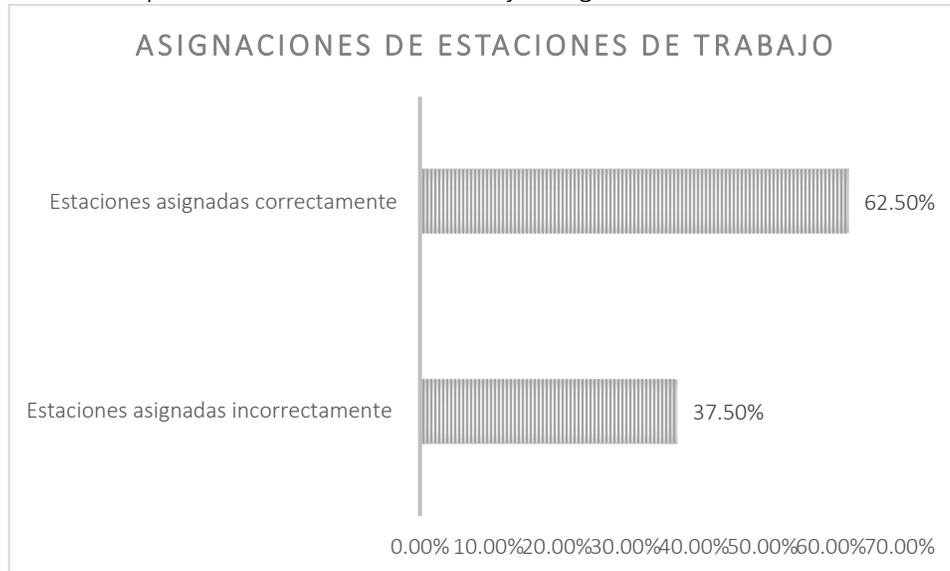
2. Si el valor ingresado se encuentra dentro del primer rango, comprendido entre  $lím_{inf1}$  y  $lím_{sup1}$ , la salida o resultado será: “APLICA PARA INSTALACIÓN DE ESTACIÓN MANUAL CENTRÍFUGA E INCUBADORA”. Fin del programa.
3. Si el valor ingresado se encuentra dentro del segundo rango, comprendido entre  $lím_{inf2}$  y  $lím_{sup2}$ , la salida o resultado será: “APLICA PARA INSTALACIÓN DE ESTACIÓN SEMIAUTOMATIZADA SWING & SAXO”. Fin del programa.
4. Si el valor ingresado se encuentra dentro del tercer rango, comprendido entre  $lím_{inf3}$  y  $lím_{sup3}$ , la salida o resultado será: “APLICA PARA INSTALACIÓN DE ESTACIÓN AUTOMATIZADA IH-500”. Fin del programa.
5. Si el valor ingresado se encuentra dentro del cuarto rango, comprendido entre  $lím_{inf4}$  y  $lím_{sup4}$ , la salida o resultado será:” APLICA PARA INSTALACIÓN DE ESTACIÓN AUTOMATIZADA CON 2 EQUIPOS”. Fin del programa.

### Resultados

Tras haber aplicado el algoritmo a cada hospital de la muestra podemos concluir que, de la muestra analizada, 62.5% contaba con estaciones de trabajo asignadas correctamente, a pesar de que éstas fueron asignadas sin el uso del algoritmo, y que un 37.5% de la muestra cuenta con estaciones de trabajo que no van de acuerdo de su c.d.a (ver Gráfica 2).

Gráfica 2

Gráfica comparativa de hospitales con estaciones de trabajo asignadas correctamente vs. Hospitales con estaciones de trabajos asignadas incorrectamente.



Fuente: Cubas & Ibarra (2019)

De acuerdo con los resultados obtenidos, los bancos de sangre de los hospitales Santo Tomás, Complejo Hospitalario Metropolitano Dr. Arnulfo Arias Madrid, Hospital Regional de Chepo, Hospital Dra. Irma Lourdes Tzanetatos y el Hospital Dr. Rafael Estévez cuentan

con estaciones de trabajo adecuadas para su c.d.a. Mientras que el Hospital Omar Torrijos Herrera que cuenta actualmente con una estación de trabajo manual debería tener instalado una estación de trabajo semiautomatizada, el Hospital Dr. Gustavo Nelson Collado que tiene instalada una estación de trabajo automatizada según su c.d.a debería tener instalada una estación semiautomatizada y el Hospital Dr. Rafael Hernández tiene instalado una estación de trabajo automatizada con un equipo y debería contar con dos equipos automatizados.

### Conclusiones

Una vez concluido el estudio podemos determinar que:

- La asignación de equipo médico es un proceso complejo que debe ser realizado de forma sistemática para evitar posibles errores que lleven a tomar una mala decisión. Muchas veces los procesos de selección de un equipo médico toman periodos considerablemente altos, por lo cual la aplicación de un algoritmo puede facilitar y agilizar dicha tarea.
- La metodología Bio-Rad de tarjetas con gel es equivalente a otras metodologías utilizadas en Panamá para realizar pruebas inmunohematológicas, por lo cual nuestro algoritmo para la asignación de estaciones de trabajo no solamente puede ser utilizado para la marca Bio-Rad, sino que también podría ser utilizado para sistemas con configuraciones similares.
- Mediante la utilización de nuestro algoritmo se pudo determinar que el 62.5% de las estaciones de trabajo estaban asignadas de forma correcta, esto es debido a que los equipos elegidos por los asesores técnicos cumplían con los c.d.a manejados por los bancos de sangre.
- Después de la aplicación del algoritmo, se pudo revelar que el 37.5% de los bancos de sangre estudiados contaban con estaciones de trabajo asignadas erróneamente. Dos bancos de sangre tenían equipos asignados de mayor capacidad a la requerida por su c.d.a. mientras que un banco de sangre tenía asignado una estación de trabajo de menor capacidad para su actual c.d.a.
- Como se ha podido analizar anteriormente, la aplicación del algoritmo ha demostrado ser de gran utilidad en la comprobación de las asignaciones de las estaciones de trabajo realizadas previamente de forma tradicional, es decir, con el criterio del asesor técnico. Igualmente, se ha demostrado ser de gran ayuda para los asesores técnicos puesto que es una herramienta de gran facilidad y rapidez para la asignación de las estaciones de trabajo.

- El uso de un algoritmo para la asignación de estaciones de trabajo puede reducir significativamente el error humano en dicha tarea, puesto que permite al asesor técnico concentrarse en el c.d.a y no en la elección del mejor sistema para el banco de sangre.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albert, O., Tellez, I., & Cruz, A. (2001). *Metodología para la adquisición de equipos médicos basados en experiencias prácticas*. La Habana.

Batista, M. (16 de julio de 2016). La ingeniería biomédica y la atención a la salud en Panamá. *La Estrella de Panamá*.

Bio-Rad. (septiembre de 2016). *FDA*. Obtenido de Bio-Rad Medical Diagnostics GmbH 510(k) Summary: <https://www.fda.gov/downloads/BiologicsBloodVaccines/BloodBloodProducts/ApprovedProducts/SubstantiallyEquivalent510kDeviceInformation/UCM526710.pdf>

*Bio-Rad Laboratories.* (s.f.). Obtenido de Swing TwinSampler: [http://www.diamed.com/product\\_detail.aspx?id=839](http://www.diamed.com/product_detail.aspx?id=839)

*Bio-Rad Laboratories.* (s.f.). Obtenido de Swing TwinSampler: [http://www.diamed.com/product\\_detail.aspx?id=839](http://www.diamed.com/product_detail.aspx?id=839)

Bolívar, G. (s.f.). *Lifeder*. Obtenido de Centrifugación: en qué consiste, tipos, importancia, ejemplos: <https://www.lifeder.com/centrifugacion/>

Bolívar, G. (s.f.). *Lifeder*. Obtenido de Centrifugación: en qué consiste, tipos, importancia, ejemplos: <https://www.lifeder.com/centrifugacion/>

Castaño, J. M. (junio de 2009). *SciElo*. Obtenido de INGENIERÍA BIOMÉDICA. HISTORIA EN CONSTRUCCIÓN: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-97622009000100005](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-97622009000100005)

*Concepto definición.* (s.f.). Obtenido de Algoritmo: <https://conceptodefinicion.de/algoritmo/>

*Concepto definición.* (s.f.). Obtenido de Algoritmo: <https://conceptodefinicion.de/algoritmo/>

*Cruz Roja Española.* (s.f.). Obtenido de La donación de sangre:  
<http://www.donarsangre.org/la-sangre/>

*Diamed.* (s.f.). Obtenido de Saxo ID Reader:  
[http://www.diamed.com/product\\_detail.aspx?id=635&navvis=](http://www.diamed.com/product_detail.aspx?id=635&navvis=)

Díaz-Quijano, F. A., Villar-Centeno, L. A., & Martínez-Vega, R. A. (2011). Reducción de la hospitalización mediante un algoritmo de manejo del dengue en Colombia. *Revista de la Sociedad Boliviana de Pediatría.*

*Dona Sangre.* (s.f.). Obtenido de Bancos de Sangre donde se puede donar:  
<https://www.donasangre.org/banco-donar.html>

*Enciclopedia Económica.* (s.f.). Obtenido de Variable estadística:  
<https://enciclopediaeconomica.com/variable-estadistica/>

Estrada, G. (2016). La ingeniería biomédica en la gestión de equipo médico. *Revista de sanidad militar.*

FACHE, W. A. (2016). *Universidad de Chile.* Obtenido de IMPLEMENTACIÓN DE:  
<http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/142546/Implementacion-de-software-para-la-deteccion-de-dano-renal-agudo-%28AKI%29.pdf?sequence=1>

GOLFFED, J. (2011). *Dona Sangre.* Obtenido de Microtécnica de Aglutinación en Gel:  
[http://donasangre.uy/wp-content/uploads/2014/07/Microtecnica\\_de\\_Aglutinacion\\_en\\_Gel.pdf](http://donasangre.uy/wp-content/uploads/2014/07/Microtecnica_de_Aglutinacion_en_Gel.pdf)

GOLFFED, J. (2011). *Dona Sangre.* Obtenido de Microtécnica de Aglutinación en Gel:  
[http://donasangre.uy/wp-content/uploads/2014/07/Microtecnica\\_de\\_Aglutinacion\\_en\\_Gel.pdf](http://donasangre.uy/wp-content/uploads/2014/07/Microtecnica_de_Aglutinacion_en_Gel.pdf)

GOLFFED, J. (julio de 2014). *Dona Sangre.* Obtenido de MICROTÉCNICA DE AGLUTINACIÓN EN GEL:  
[http://donasangre.uy/wp-content/uploads/2014/07/Microtecnica\\_de\\_Aglutinacion\\_en\\_Gel.pdf](http://donasangre.uy/wp-content/uploads/2014/07/Microtecnica_de_Aglutinacion_en_Gel.pdf)

*Guía de recursos para procesos de adquisición.* (2012). Suiza.

Hustinx H, M. E. (2016). *International Society of Blood Transfusion: ISBT*. Obtenido de Comparison of sensitivity and specificity of the Bio-Rad ID Cards: [https://www.posteressiononline.eu/173580348\\_eu/congresos/34isbt/aula/-P\\_349\\_34isbt.pdf](https://www.posteressiononline.eu/173580348_eu/congresos/34isbt/aula/-P_349_34isbt.pdf)

Marketwired. (3 de agosto de 2015). *Yahoo! Finance*. Obtenido de Bio-Rad Introduces the IH-500, a Fully Automated Random Access System for Blood Typing and Screening: <https://finance.yahoo.com/news/bio-rad-introduces-ih-500-123000963.html>

Martínez, T. G. (2008). *Procedimiento para evaluación y adquisición de tecnología médica*. México.

*Ministerio de Salud de Panamá*. (s.f.). Obtenido de Programa Nacional de Sangre: <http://www.minsa.gob.pa/programa/programa-nacional-de-sangre>

Molina, T. (2007). *Ingeniería Clínica para no ingenieros: Adquisición de equipos médicos. Ingeniería Biomédica*.

Rivera, T. (2016). *Recomendaciones para la adquisición de equipo médico en el sistema nacional de salud*. México.

RODRIGUEZ, A. (enero de 2018). *Ministerio de Salud de Panamá*. Obtenido de Listado de instalaciones de salud 2017: [http://www.minsa.gob.pa/sites/default/files/publicacion-general/listado\\_de\\_instalaciones\\_de\\_salud\\_ano\\_2017.pdf](http://www.minsa.gob.pa/sites/default/files/publicacion-general/listado_de_instalaciones_de_salud_ano_2017.pdf)

*Ual Medical*. (2017). Obtenido de Suite Edelphyn: [http://www.ualmedical.com/pdf/Suite-eDelphyn\(2017\).pdf](http://www.ualmedical.com/pdf/Suite-eDelphyn(2017).pdf)