Cuba Salud
IV Convención
Internacional de Salud
17-21 de octubre, 2022

Sistema de información y gestión de resultados para laboratorios

Liber Luis Gonzalez Vilela[1]
Jorge Luis Bucarano Portelles [1]
Eduardo Albertus Estevéz [1]
Liem Laguna Oliva [2]
Beatriz Amat Valdés [2]

[1] Unión de Informáticos de Cuba, La Habana, Cuba. {liber.gonzalez, jorge.bucarano, eduardo.albertus}@uic.cu
[2] Ministerio de Salud Pública, La Habana, Cuba. {lilao, bsuatv}@infomed.sld.cu

Resumen: Los procesos establecidos para el procesamiento, análisis y resultado final de las muestras de PCR, así como el control de los suministros médicos para realizar estas pruebas, aún se realizan de forma manual, trayendo consigo la introducción del error humano. En esta investigación se realiza un análisis del software utilizado para el procesamiento de las muestras, así como las ventajas y desventajas que lo caracterizan. Los resultados alcanzados con el sistema, el cual automatiza: (los procesos de recepción de las bases de datos de los centros de aislamiento, la asignación y creación del protocolo, montaje de las muestras en el equipo de PCR, integración con los equipos de procesamiento y análisis de muestras SLAN y SUMA, gestión de ingresos, proceso de inventario y planificación de análisis integrado con el sistema hospitalario GALEN, resúmenes estadísticos sobre los ingresos, proceso de cierre del día y desarrollo de una aplicación móvil para la búsqueda de resultados y estadísticas por fecha del procesamiento de muestras), fueron de gran importancia para el sector de la salud, ya que se logró el ahorro de recursos, por ser implementado con desarrollo propio, la humanización del trabajo, el aumento de la fiabilidad y seguridad de la información, gestión y control de los recursos materiales y rapidez en la entrega de las informaciones solicitadas por el MINSAP.

Palabras clave: Flujo laminar, Termociclador, Biosensor, Papyrus.

I. INTRODUCCIÓN

La biología molecular es la rama de la biología que tiene como objetivo el estudio de los procesos que se desarrollan en los seres vivos desde un punto de vista molecular. En su sentido moderno, la biología molecular pretende explicar los fenómenos de la vida a partir de sus propiedades macromoleculares [1]. Al estudiar el comportamiento biológico de las moléculas que componen las células vivas, la Biología molecular roza otras ciencias que abordan temas similares: así, por ejemplo, juntamente con la genética se interesa por la estructura y funcionamiento de los genes y por la inducción y represión de la síntesis intracelular de enzimas y de otras proteínas.

En la actualidad la biología molecular se considera como una ciencia fundamental, dinámica, interdisciplinaria e internacional, con un gran impacto sobre la sociedad y en continuo crecimiento. Es

una de las ciencias más utilizadas en el campo de la investigación y uno de los pilares activos más promisorios para el desarrollo del conocimiento.

Con la aparición de los primeros casos diagnosticados con el virus del Sars-Cov2[1] en nuestro país se implementaron un conjunto de medidas para evitar el contagio y la propagación, no obstante por el incorrecto cumplimiento de las medidas sanitarias, el número de casos diarios con la enfermedad comenzó a aumentar de forma paulatina, trayendo consigo el incremento de la cantidad de ingresos diarios en los hospitales hasta llegar a superar los miles de casos, por lo que el personal de la salud a pesar del esfuerzo que realizaba, tuvo que doblar voluntades en cuanto a la aplicación del protocolo establecido para el tratamiento de la enfermedad y el procesamiento de las muestras que se realizaban de forma diaria, en algunos casos se implementaron mecanismos automatizados que facilitaron el procedimiento pero no cumplieron su objetivo, lo cual no era suficiente, trayendo consigo en algunos casos errores en las informaciones brindadas a las autoridades pertinentes.

Para enfrentar este problema, los resultados de la presente investigación, aportan una solución para la gestión, análisis de las muestras en los laboratorios, el proceso de planificación de pruebas en los pacientes ingresados y el control de los materiales empleados en dichos exámenes.

II. MÉTODO

Los métodos teóricos aplicados en la investigación fueron los teóricos y los empíricos. Entre los primeros se debe mencionar: el hipotético-deductivo y el sistémico, para definir los elementos y bloques funcionales que integran la arquitectura de la solución y sus interacciones internas. Los métodos empíricos se utilizaron para el análisis documental durante la revisión bibliográfica. El método de observación científica de conjunto con el método experimental sirvió para garantizar la validez de los resultados parciales y finales, así como la propuesta obtenida

III. ESTADO DEL ARTE

Existen sistemas desarrollados para el control en el acceso a la información de forma oportuna, el fraccionamiento de la información, sustituir los procesos de trabajo manual, mejorar el control de la documentación y la poca trazabilidad del uso de la documentación [2], el mismo durante los primeros periodos de la pandemia de la Covid-19 fue utilizado por los hospitales en el agrupamiento de los resultados de las pruebas de PCR[2] de los pacientes, pero a medida que se perfeccionaron los protocolos, los formatos de los documentos que eran empleados por estos sufrieron cambios, dificultando su empleo, por lo que retrasó el trabajo de los especialistas en la agrupación y centralización de la información; lo anteriormente conllevo a que nuevamente se comenzaran a registrar los resultados en documentos Excel, trayendo consigo dificultad y complejidad en los procesos de agrupación de los resultados como confusión debido al gran volumen de información que era procesada y en algunos casos errores humanos, todo ellos reflejado en los procesos que se mencionan a continuación:

- Recepción de las bases de datos de los centros de aislamiento.
- Montaje de las muestras en el equipo de PCR.
- Brindar información a la población sobre el estado de un resultado realizado.

[1] Coronavirus de tipo dos causantes del síndrome respiratorio agudo severo.

[2] Reacción en cadena de la polimerasa.

IV. DESCRIPCIÓN BÁSICA DE LAS HERRAMIENTAS

Para la implementación de este sistema se utilizaron tecnologías para el desarrollo de programas en ambiente web e integración con herramientas de código abierto, las mismas fueron:

- Lenguaje de programación php [3]-[4].
- Marco de trabajo ExtJs [5].
- Gestor de bases de datos Postgresql [6].
- Lenguaje de programación Java [7]-[8].
- Servidor de Correo Zimbra [9].

Además, se integró con los dispositivos médicos utilizados para el análisis de las muestras como:

- SUMA[3].
- SLAN[4].

V. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

En la siguiente figura aparecen los componentes que conforman el sistema para la gestión de muestras en laboratorio (GestLab), los mismos son:

- Maquina SLAN: Encargada a través del software de interacción con el SLAN, obtener los datos de este.
- SLAN: Equipo médico encargado del análisis y procesamiento de las muestras de los pacientes.
- Máquina del operador: Encargada de gestionar y controlar todas las operaciones que se realizan en el sistema automatizado.
- Apk para consulta: A través de la cual se puede conocer el estado de los resultados de los pacientes ingresados.
- Máquina de consulta: Utilizada para obtener información necesaria para el trabajo con los resultados de los pacientes.
- Servidor web: Encargado de recibir, enviar y procesar las peticiones hechas por el operador, la apk y el pc de consulta hacia el servidor de bases de datos.
- Servidor de base de datos: Encargado del almacenamiento de la información que se tramita desde el servidor web.

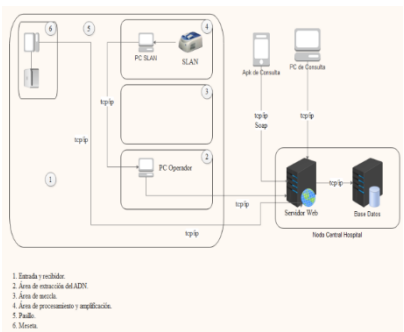

Fig. 1. Esquema de la solución.

[3] Sistema Ultramicroanálitico.
[4] Sistema para la realización de PCR en tiempo real.

VI. LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN PHP

Es un lenguaje de código abierto muy popular especialmente adecuado para el desarrollo web y que puede ser incrustado en HTML [10].

Posee características que lo distinguen como son:

- Gran extensión de documentación.
- Variedad de herramientas para aprender.
- Permite programación orientada a objetos.
- Módulos externos para mejorar la aplicación web.
- Se puede separar la estructura.
- Para el sistema se utilizó dicho lenguaje del lado del cliente, producto a la rapidez con que procesa las peticiones hechas por el operador.

VII. MARCO DE TRABAJO EXT JS

Es una biblioteca de JavaScript para el desarrollo de aplicaciones web interactivas usando tecnologías como AJAX [11], DHTML [12] y DOM [13], dentro del sistema es utilizado para la conformación de las vistas que constituyen las opciones e interfaces.

VIII. GESTOR DE BASES DE DATOS POSTGRESQL

Es un sistema de código abierto de administración de bases de datos del tipo relacional, aunque también es posible ejecutar consultas que sean no relacionales. En este sistema, las consultas relacionales se basan en SQL, mientras que las no relacionales hacen uso de JSON [14].

Posee características que lo distinguen como son:

- Cumple con ACID, es decir provee atomicidad, consistencia, aislamiento y durabilidad para sus operaciones.
- Permite crear esquemas, tablas heredadas y triggers orientados a eventos que no poseen otros motores.
- Permite definir procedimientos, no solo en PostgreSQL, sino también en otros muchos lenguajes como Pearl [15] o Python [16]-[17]. Incluso si el lenguaje que queremos usar no está soportado, podemos definirlo con nuevas extensiones.
- Tiene un soporte nativo de replicación maestro-esclavo, pero también es posible añadir otros tipos a través de productos de terceros, libres o de pago.
- También provee una excelente escalabilidad vertical.

En el sistema es utilizado para almacenar las solicitudes que son enviados desde el servidor web, apk y la computadora de consulta.

IX. LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN JAVA SCRIPT

Es un robusto lenguaje de programación que se puede aplicar a un documento HTML y usarse para crear interactividad dinámica en los sitios web, posee características como son:

- Desarrollo de API[5].
- Marcos de trabajo y librerías de terceros que se puede aplicar a uno o varios HTML para construir y publicar rápidamente sitios y aplicaciones.

X. SERVIDOR DE CORREO ZIMBRA

Cuando se habla de correo corporativo pensamos en las ventajas que este puede ofrecer a nuestros empleados para facilitar y mejorar la comunicación en el entorno laboral, por ello es importante saber cuál es el mejor. Zimbra es una opción de correos corporativos que brinda la solución de colaboración de grupo, es la más potente actualmente con código abierto, además de contar con un diseño atractivo y herramientas útiles que facilitan el uso.

Esta plataforma de correos dispone sus servicios para dispositivos móviles, la sincronización directa con varias herramientas colaborativas sin incluir un servidor adicional, los servidores ZCS Linux con agente de transporte de correo (MTA), antispam, antivirus, directorio, base de datos, herramientas de migración, y consola de administración web basada en Ajax, todas estas herramientas completan perfectamente las necesidades de las empresas para el beneficio propio.

Este servidor de correo electrónico es utilizado para notificar sobre los resultados de las muestras, así como del inventario de los medios utilizados para realizar estas. Lo anteriormente dicho es para las personas que les sea definido un usuario de correo en el sistema.

XI. FLUJO DE TRABAJO DEL SISTEMA

El funcionamiento del sistema comienza con el establecimiento en un fichero de la información del paciente, el cual contempla: número de muestra, nombre y dos apellidos, sexo, edad, provincia, municipio, dirección particular y centro que envía la muestra.

Con esa información que se obtiene de cada uno de los ficheros que llegan de los centros de aislamiento, el operador le incorpora al documento del día de trabajo y selecciona que tipo de análisis va a realizar, (PCR, SUMA, Biosensor o Test Rápido), como se muestra en la figura 2.

Fig. 2 Procesamiento de las muestras.

Esta base de datos cuenta con un número consecutivo, la fecha, el año por quién es creado y que jefe facultado lo aprobó, además de mostrar un resumen en cuanto a total de muestras, cuántas de ellas positivo, negativo, inhibidas y a repetir.

[5] Interfaz de aplicación de programas.

Creado el documento se importa la información recibida y formalizada en el fichero del día, el sistema de forma automática procesa la información asignándoles el número de muestra correspondiente para el tipo de análisis a realizar y en caso de que sea un paciente que existe, no se incluye, se registra con el mismo número, en caso de ser nuevo se incorpora con todos los datos requeridos.
Posteriormente se crea el protocolo con el reactivo y el número de muestras a incluir, el sistema de forma automática incluye en el protocolo los casos pendientes de acuerdo al número de muestras deseado y asigna el número de corrida correspondiente como se muestra en la figura 3.

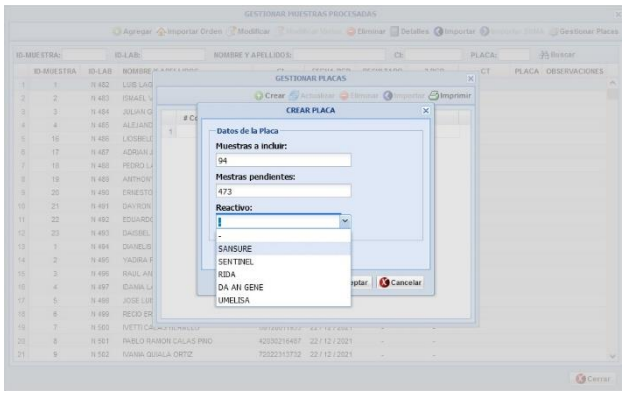

Fig. 3 Creación del protocolo con el reactivo.

En los casos que existan muestras con primer resultado a repetir por ser inhibidas se incluirán de forma automática al final del grupo que no contiene primer resultado o brinda la posibilidad de intercambiar a un paciente en cualquier posición.
Concluido esto se imprime el protocolo y se montan las muestras en el equipo de PCR como indica el documento generado, como se observa en la figura 4.

PROTOCOLO DE TRABAJO PCR
CENTRO BIOLOGIA MOLECULAR
Placa Nro:22 con 36 muestras a procesar
FECHA:22/12/2021 TIPO:N

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	N-655	N-663	N-671	N-679	N-687							
B	N-656	N-664	N-672	N-680	N-688							
C	N-657	N-665	N-673	N-681	N-689							
D	N-658	N-666	N-674	N-682	N-690							
E	N-659	N-667	N-675	N-683								
F	N-660	N-668	N-676	N-684								
G	N-661	N-669	N-677	N-685								
H	N-662	N-670	N-678	N-686								

Fig. 4 Preparación de las muestras para el equipo de PCR.

Terminada la corrida se exportan los resultados, en un documento en formato Excel, en dependencia del reactivo que se emplee. Se copian en una carpeta compartida entre el puesto de trabajo

(computadora) del termociclador y la máquina de procesamiento con el GestLab, este proceder permite importar sobre el protocolo en cuestión el fichero Excel, incorporando de manera automática los resultados a todos los pacientes que se encuentran en la corrida analizada.
Una vez concluido el día de trabajo, el jefe de grupo procede a realizar la aprobación del mismo, aspecto que permite generar el listado con el formato establecido por el MINSAP[6], además del listado que se incorpora al sistema Papyrus y un cierre consolidado con los totales en cuanto a cantidad de muestras por tipo de resultado (positivo, negativo, inhibida y repetir) y los centros de aislamientos que envían muestras, tal y como se muestra en la figura 5.

RESUMEN DE BIOLOGIA MOLECULAR PARA EL DÍA 22/12/2021 DE PROCESAMIENTO DE MUESTRAS COVID - 19

		MUESTRAS		
NRO	PROCEDENCIA	RECIBIDAS	PROCESADAS	PENDIENTES
1	13 DE MARZO (HAB)	10	10	0
2	ANDRÉS ORTIZ JUNCO	13	13	0
3	ANGEL MACHACO AMEIJEIRA	35	35	0
4	C.A. BAHIA	24	24	0
5	C.A. ISMAELILLO	13	13	0
6	CA-MARTIRES DE REGLA	30	30	0
7	CA LLAVECITA BRONCE GBCOA	9	9	0
8	CAMILO CIENFUEGOS GORRIARÁN (HAB)	10	10	0
9	CAMPO FLORIDO	8	8	0
10	CI LLAVECITA BRONCE GBCOA	14	14	0
11	EMCC MAYABEQUE	54	54	0
12	ENRIQUE BETANCOURT NENINGER	16	16	0
13	GREGORIO VALDÉZ CRUZ	10	10	0
14	JULIO ANTONIO MELLA MC PARTLAND (HAB)	41	41	0
15	LIDYA Y CLODOMIRA	30	30	0
16	MARIO ESCALONA REGUERA	34	34	0
17	MARIO MUÑOZ MONROY (HAB-HABESTE)	12	12	0
18	NAVAL	44	44	0
19	UCHE	6	6	0
20	UMELISA	2	2	0
21	WILFREDO SANTANA RIVAS	59	59	0
	TOTAL	474	474	0

MUESTRAS PROCESADAS	NEGATIVAS	POSITIVAS	INHIBIDAS	REPETIDAS	PENDIENTES
474	275	198	1	0	0

Fig. 5 Resumen de muestras de PCR.

El puesto de mando tiene acceso a ver toda la información procesada por el LBM[7] y el Banco de Sangre de forma resumida y tiene la posibilidad de buscar resultados de una o varias personas, aspecto que elimina la necesidad de tener ficheros de varios días abiertos para buscar resultados.
Se incorporó una aplicación móvil, a través de la cual es pública la información de los pacientes dentro del hospital como se muestra en la figura 6.

Fig. 6 Aplicación móvil para el chequeo de los resultados.

Este aspecto garantiza conocer resultados para la movilidad dentro del hospital.

[6] Ministerio de Salud Pública.
[7] Laboratorio de Biología Molecular.

Esta aplicación móvil se encuentra disponible en las salas para que los médicos puedan disponer del resultado de cada uno de sus pacientes.

Se garantizó que la información que se procesa en ambos laboratorios este actualizada de forma automática en la entidad superior de salud, aspecto que brinda información de primera mano al personal que ahí labora.

XII. CONTROL DE LOS INVENTARIOS

Para el trabajo que se realiza en el proceso de análisis de las muestras se emplean disimiles insumos médicos, estos deben ser controlados e inventariados para evitar pérdidas materiales, para cumplir con tal objetivo se incorpora al sistema un módulo encargado de gestionar los principales procesos del registro y control material, entre los que se encuentran, recepción, ajuste, consumo, despachos y submayor de inventario continuo por productos con cálculo de cobertura por días utilizando la siguiente formula:

$$C = \frac{E_t}{N_{muestras}} \qquad (1)$$

Donde:

C: Cobertura por días.
E_t: Existencia total por insumos.
$N_{muestras}$: Número total de muestras a procesar.

Dicho módulo logra brindar información de manera inmediata al personal de abastecimiento médico, aspecto que se garantiza notificando de forma diaria y oportuna sobre el gasto de material durante el procesamiento de muestras.

XIII. GESTIÓN DE INGRESOS

Para el proceso de ingreso del paciente, se emplea el sistema GALEN creándose la historia clínica. Al realizarse la toma de muestra de ser positiva se realiza una conciliación mediante el empleo de un servicio web que brinda el sistema de ingresos del hospital y el GestLab, asignándole de forma automática la sala y cama donde será ingresado. Proporcionando la posibilidad de registrar otros datos adicionales como se muestra en la figura 7, aspectos que favorecen la generación de reportes estadísticos que se envían al MINSAP para el control de los pacientes ingresados.

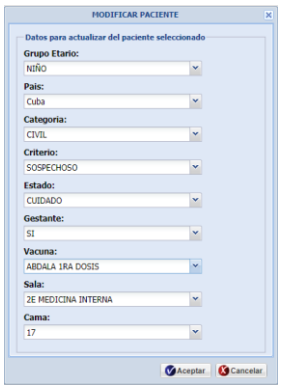

Fig. 7 Interfaz para los datos estadísticos de los pacientes.

XIV. BENEFICIOS DE LA SOLUCIÓN.

- Reducción del tiempo en el proceso de obtención de los resultados por cada corrida en el laboratorio.
- Continuidad al proceso de migración a software libre.
- Incidió en la transformación del proceso organizativo del laboratorio, definiendo roles con responsabilidades específicas en cada área.
- Logró reducir el error humano en la incorporación de los resultados, ganando notablemente en confiabilidad y seguridad de los datos que se procesan.
- Mejora los procesos de información estadística sobre los resultados de las muestras y los pacientes ingresados.
- Disminuye el tiempo de respuesta para notificar el resultado de los pacientes.
- Garantiza que la información sea actualizada a la nube (Papyrus) sin problemas, aspecto que beneficia a la población que es atendida por el hospital, con el objetivo de que conozca su resultado por vía telefónica.
- Incide sobre el registro y control de los medios materiales que se destinan para garantizar el procesamiento de las muestras en cada turno de trabajo.
- La incorporación de una aplicación móvil, logró que el personal que labora en las salas de ingresados, conozca el resultado de las pruebas realizadas para sus pacientes.
- La aplicación móvil permitió al personal de dirección de la entidad, conocer los datos estadísticos del procesamiento diario de los laboratorios.

XV. CONCLUSIONES

Con la implementación de esta solución se logró la recepción de las bases de datos de los centros de aislamiento, la asignación al paciente de la muestra de acuerdo al tipo de análisis, creación del protocolo con el número consecutivo y el reactivo más el número de muestras a incluir, el montaje de las muestras en el equipo de PCR, exportar resumen diario para Papyrus, generar resumen diario de procesamiento de muestras, exportar información en formato Excel para centros que envían muestras, aplicación móvil para la búsqueda de resultados y estadísticas por fecha del procesamiento de muestras, integración con

los equipos de procesamiento y análisis de muestras SLAN y SUMA, gestión de ingresos y planificación de análisis integrado con el sistema hospitalario GALEN, resúmenes estadísticos sobre los ingresos, proceso de cierre del día con envió de información a una ubicación remota, gestión del proceso de inventario asociado al consumo de materiales para el procesamiento diario de muestras. Todo ello contribuyó a eliminar todos aquellos procedimientos que se realizaban de forma manual, logrando una mayor rapidez en la respuesta de los análisis de los pacientes y fortaleciendo aún más el trabajo de nuestro sistema de salud nacional.

REFERENCIAS

1. Ilya Prigogine (2012). El nacimiento del tiempo. Buenos Aires, Fábula Tusquets editores. ISBN 978-987-670-087-0.
2. Sistema para la gestión documental [Internet]. [Citado 20 de diciembre de 2021]. Disponible en: http://www.datys.cu/spa/site/product/23.
3. Descubre que es el lenguaje de programación php y en que situaciones se hace útil [Internet]. [Citado 20 de diciembre de 2021]. Disponible en: https://rockcontent.com/es/blog/php/.
4. ¿Qué es php? [Internet]. [Citado 20 de diciembre de 2021]. Disponible en: https://www.php.net/manual/es/intro-whatis.php.
5. ExtJS - Wikipedia, la enciclopedia libre [Internet]. [Citado 20 de diciembre de 2021]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Ext_JS.
6. Servidor PostgreSQL [Internet]. [Citado 20 de diciembre de 2021]. Disponible en: https://blog.infranetworking.com/servidor-postgresql/.
7. ¿Qué es Java? ¿Conoce las particularidades de este lenguaje de programación? [Internet]. [Citado 20 de diciembre de 2021]. Disponible en: https://rockcontent.com/es/blog/que-es-java/.
8. Java - Wikipedia, la enciclopedia libre (lenguaje de programación) [Internet]. [Citado 21 de diciembre de 2021]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Java_ (lenguaje_de_programaci%C3%B3n).
9. Manual de Zimbra parte III: Administración y Configuración de Zimbra Open Source Edition Versión 8.6 y 8.7 [Internet]. [Citado el 21 de diciembre de 2021]. Disponible en: https://cloudperu.pe/manuales/zimbra/administracion-de-zimbra-open-source/.
10. HTML - Wikipedia, la enciclopedia libre [Internet]. [Citado 21 de diciembre de 2021]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/HTML.
11. ¿Qué es AJAX y cómo funciona? [Internet]. [Citado 21 de diciembre de 2021]. Disponible en: https://www.hostinger.es/tutoriales/que-es-ajax.
12. Qué es DHTML o HTML Dinámico [Internet]. [Citado 21 de diciembre de 2021]. Disponible en: https://desarrolloweb.com/articulos/391.php.
13. Qué es el DOM [Internet]. [Citado 21 de diciembre de 2021]. Disponible en: https://desarrolloweb.com/articulos/que-es-el-dom.html.
14. JSON - Wikipedia, la enciclopedia libre [Internet]. [Citado 22 de diciembre de 2021]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/JSON.
15. Qué es Perl [Internet]. [Citado 22 de diciembre de 2021]. Disponible en: https://desarrolloweb.com/articulos/541.php.
16. Welcome to Python.org [Internet]. [Citado 26 de septiembre de 2019]. Disponible en: https://www.python.org/.
17. Python - Wikipedia, la enciclopedia libre [Internet]. [Citado 26 de septiembre de 2019]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Python.