**IoT para la medición en tiempo real de la dispensación de líquidos de alto rendimiento en entornos de laboratorio**

Mostrar todos los autores

[Justin Shumate](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454) , [Pierre Baillargeon](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454) , [Timothy P. Spicer](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454) , ...

Publicado por primera vez el 12 de abril de 2018 Artículo de investigación

[https://doi.org/10.1177/2472630318769454](https://doi.org/10.1177%2F2472630318769454)

|  |
| --- |
| [Información del artículo](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454) |
|  |

Resumen

Para mantener el control de calidad en el cribado de alto rendimiento es fundamental la necesidad de un control constante de la fidelidad de la dispensación de líquidos. Los métodos tradicionales implican la intervención del operador con análisis gravimétrico para monitorear la precisión bruta de las dispensaciones completas de placas, la verificación visual del contenido o las estaciones de pesaje dedicadas en plataformas de detección que introducen posibles cuellos de botella y aumentan el tiempo del ciclo de procesamiento de la placa. Presentamos una solución única que utiliza hardware de código abierto, software e impresión 3D para automatizar la determinación de precisión del dispensador al proporcionar mediciones de peso de dispensación en tiempo real a través de una balanza de precisión conectada a la red. Este sistema utiliza un microcontrolador Arduino para conectar una balanza de precisión a una red local. Al integrar el equilibrio de precisión como un dispositivo de Internet de las cosas (IoT), adquiere la capacidad de proporcionar resúmenes gravimétricos de dispensación en tiempo real, generar alertas oportunas cuando se detectan problemas y capturar datos históricos de dispensación para futuros análisis. Se puede acceder a todos los datos recopilados a través de una interfaz web para revisar alertas y dispensar información en tiempo real o de forma remota para la intervención oportuna de errores de dispensación. El desarrollo de este sistema también aprovechó la impresión 3D para prototipar rápidamente los soportes del sensor, las soluciones de montaje y los gabinetes de componentes.

**Palabras clave**[IoT](https://journals.sagepub.com/keyword/Iot) , [dispensador](https://journals.sagepub.com/keyword/Dispenser) , [HTS](https://journals.sagepub.com/keyword/HTS) , [microcontrolador](https://journals.sagepub.com/keyword/Microcontroller) , [impresión 3D](https://journals.sagepub.com/keyword/3D+Printing)

Introducción

El cribado moderno de alto rendimiento (HTS) utiliza dispensadores de válvula solenoide de botella presurizada para transferir rápidamente pequeños volúmenes de líquido a placas de microtitulación de diferentes densidades. [1](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454) Estos dispositivos proporcionan capacidades precisas de manejo de líquidos y sirven como una de las bases de HTS. Sin embargo, estos dispositivos no son infalibles y pueden ocurrir problemas con el equipo. Las válvulas y puntas utilizadas en estos dispensadores HTS se consideran artículos consumibles destinados a reemplazo periódico cuando fallan. Los modos principales de falla incluyen puntas de distribución bloqueadas y válvulas de distribución fallidas, que conducen a la distribución de volúmenes incorrectos. Sin ser detectados, estos errores pueden conducir a pérdidas significativas de tiempo o reactivos durante la detección. Por lo tanto, existe un deseo de control de calidad (QC) en tiempo real de estos procesos a medida que ocurren.[2](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454)-[5](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454)

Una solución de control de calidad para este desafío es la intervención manual del operador. Un operador humano puede pausar el sistema robótico temporalmente para retirar la placa de microtitulación en cuestión y transportarla a una balanza analítica. Una vez en la balanza, el operador puede tomar medidas de peso antes y después de dispensar para garantizar su precisión. Sin embargo, este método tiene la desventaja de ralentizar el rendimiento y potencialmente introducir errores humanos. Un segundo enfoque para este problema implica la integración robótica de sistemas de monitoreo de procesos en línea para verificar la calidad de las dispensaciones. [6](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454),[7](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454)Este método implica el uso de estaciones de pesaje designadas instaladas en el entorno robótico HTS. Estas estaciones permiten que el robot pese las placas antes y después de la distribución del reactivo para garantizar que se agrega el volumen correcto de reactivo en cada paso. Esto significa que para cada paso de dispensación individual, la placa debe moverse a una estación de pesaje independiente dos veces, una antes de dispensar y luego otra vez después de dispensar. La desventaja de este método es que estos movimientos hacia y desde estaciones de pesaje discretas toman tiempo adicional y potencialmente crean cuellos de botella en el sistema HTS.

El sistema de pesaje automatizado presentado aquí, denominado internamente Just Just Monitoring System (JAMS), representa una solución basada en Internet de las cosas (IoT) para abordar estos problemas. Este sistema aprovecha el software y la electrónica de código abierto, junto con la impresión 3D, para implementar un novedoso sistema automatizado de pesaje de dispensación sin el requisito de estaciones de pesaje discretas accesibles por robot. Las soluciones de ciencia abierta han demostrado ser un área de interés, con muchos investigadores en el campo descubriendo oportunidades para resolver problemas que anteriormente requerían costosas soluciones patentadas. [8](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454)-[16](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454)

La plataforma JAMS, cuyo resumen se ve en la [**Figura 1**](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454), logra el objetivo de dispensar QC integrando el proceso de pesaje directamente con las botellas de reactivo, que están montadas en una balanza de precisión. Se monta un sensor en la plataforma del dispensador para detectar cuándo se produce la dispensación, y los datos de la balanza se envían y almacenan continuamente por un Arduino [17](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454)en una base de datos. Una vez finalizada una operación de dispensación, se consulta la base de datos y se compara el peso anterior y posterior para obtener gravimétricamente la cantidad de líquido dispensado. La ventaja clave de este sistema es que no interrumpe el proceso HTS. No se necesitan pasos automáticos adicionales para medir el volumen de dispensación. Debido a que el peso se procesa inmediatamente después de que finaliza la dispensación, cualquier error en la medición se puede detectar en tiempo real y se pueden enviar notificaciones de error al personal pertinente. Finalmente, el sistema ofrece un método fácil de revisión de datos. Una interfaz basada en la web permite un fácil acceso para interactuar y monitorear el sistema a través de cualquier computadora local o dispositivo móvil que esté conectado a la red Scripps. Con todos los datos de saldo almacenados en una base de datos,

[
                        figura
                    ](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454)

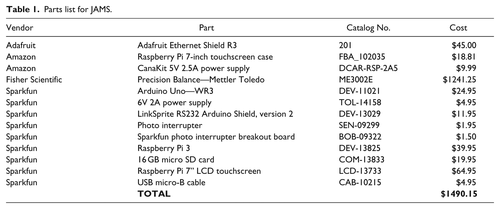
**Figura 1.** Vista ( **A – C** ) de la plataforma de control de calidad del dispensador Just Another Monitoring System (JAMS) que muestra la balanza, el microcontrolador Arduino, la pantalla Raspberry Pi, el sensor de fotointerruptor y la etapa de posicionamiento de la placa dispensadora. También incluye un modelo de diseño asistido por computadora (CAD) de una caja impresa en 3D utilizada para almacenar el microcontrolador Arduino, Adafruit Ethernet Shield y LinkSprite RS232 Shield en una pila. ( **D** ) Descripción general del proceso JAMS, con datos que se leen de una balanza, capturados por un microcontrolador Arduino, almacenados en una base de datos y disponibles para su revisión a través de una interfaz web.

Materiales y métodos

El sistema JAMS QC se creó con el hardware de código abierto listo para usar que se detalla en la [**Tabla 1**](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454) . La información detallada sobre cómo cada una de estas tecnologías se integró con los Lavadores / Dispensadores GNF utilizados en la plataforma Scripps Florida HTS se puede encontrar en las siguientes secciones a continuación.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| |  |  | | --- | --- | | [Mesa](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454) | **Tabla 1.** Lista de piezas para JAMS. | |

**Tabla 1.** Lista de piezas para JAMS.



[**Ver versión más grande**](https://journals.sagepub.com/na101/home/literatum/publisher/sage/journals/content/jlad/2018/jlad_23_5/2472630318769454/20180921/images/large/10.1177_2472630318769454-table1.jpeg)

Hardware

La balanza utilizada en nuestra implementación es un Mettler Toledo ME3002E, que se ha configurado para emitir su medición de peso a través del conector serie RS232 incorporado. Los datos de la balanza son leídos por un microcontrolador Arduino Uno cada segundo a través de un LinkSprite RS232 Arduino Shield, que está conectado al puerto RS232 de la balanza. El flujo de datos de la balanza contiene el valor numérico del peso medido, las unidades de medición, el signo de la medición y la estabilidad de la medición.

Se necesitaba un método para permitir que el software determinara cuándo comienza y termina una operación de dispensación. En el dispensador GNF, la plataforma que sostiene la placa de microtitulación durante la dispensación se desplaza hacia adelante y hacia atrás a lo largo de un eje *y* . Al realizar un foto de infrarrojos (IR) interruptor de sensor en un impreso-3D montar en un extremo de la *y* eje x y adjuntar una bandera impresa-3D a la plataforma de distribución ( [**Fig. 2**](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454)), podemos saber cuándo el dispensador está en una posición inactiva en comparación con cuando la platina se ha movido y está dispensando activamente. La bandera impresa en 3D sobresale de una manera que bloquea el sensor cuando el dispensador está en estado inactivo y deja el sensor sin obstrucciones durante la dispensación. Con esta información, el software sabe qué puntos de tiempo del conjunto de datos de la balanza corresponden al inicio y al final de una operación de dispensación, lo que permite el cálculo de una comparación gravimétrica entre los dos.

[
                        figura
                    ](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454)

**Figura 2.** ( **A** ) Bandera impresa en 3D que bloquea el sensor del fotointerruptor, indicando que el dispensador está actualmente en su posición inactiva. ( **B** ) La posición de dispensación activa con la bandera ya no bloquea el camino del sensor del fotointerruptor. ( **C** ) Modelos de diseño asistido por computadora (CAD) de componentes impresos en 3D utilizados para el montaje del sensor de fotointerruptor y la bandera de la plataforma del dispensador.

La personalización de las piezas impresas en 3D se realizó utilizando las herramientas de modelado CAD de Onshape. [18](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454) Arduino Uno, Ethernet Shield y RS232 Shield están todos apilados y alojados en una carcasa impresa en 3D inspirada en un diseño de usuario que se encuentra en Thingiverse. [19](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454) Todos los componentes impresos en 3D de la plataforma JAMS se pueden ver en las [**Figuras 1C**](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454)**y**[**2C**](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454).

Después de recopilar la información necesaria de la balanza y el sensor IR, el Arduino transmite los datos a una página web PHP [20 a](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454) través de un Adafruit Ethernet Shield, que conecta la balanza a la intranet Scripps Florida. Luego, la página web de PHP toma los datos, los deposita en una base [de](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454) datos MySQL [21](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454) y determina si se deben generar alertas debido a errores de dispensación. Actualmente, las alertas se envían por correo electrónico y contienen información específica sobre el peso de suministro objetivo frente al peso medido. Estos datos permiten una imagen clara de cuándo han comenzado las dispensaciones, cuándo están en progreso y cuándo han terminado ( [**Fig. 3**](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454))

[
                        figura
                    ](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454)

**Figura 3.** Gráfico de lectura de peso decreciente de la balanza y el estado del sensor durante el transcurso de una dispensación, correspondiente al volumen de reactivo dispensado en la placa.

Para mejorar aún más el aspecto de monitoreo en tiempo real del sistema de control de calidad del dispensador, se montó una Raspberry Pi [22](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454) y una pantalla táctil de 7 pulgadas directamente encima del dispensador ( [**Fig. 1A**](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454)) La Raspberry Pi carga automáticamente la página web de resumen de control de calidad de dispensación placa por placa en la inicialización del sistema. Esto permite una visualización de los datos que salen de la balanza para ser vistos directamente en el dispensador mismo, en lugar de en una computadora separada. Debido a que Raspberry Pi está dedicado a esta función específica, siempre tiene la información relevante abierta y actualizada para la tarea de distribución actual disponible.

Software

Tres programas PHP manejan las tareas de almacenamiento, recuperación y visualización de datos del sistema JAMS. El primero de estos tres, Data Logger, es responsable de aceptar los datos del Arduino y almacenarlos en la base de datos MySQL. Data Logger también realiza comprobaciones de límites para ver si las dispensaciones están dentro de los parámetros establecidos y genera notificaciones de usuario apropiadas si no lo están. Los otros dos programas, Visualización de datos y Revisión de datos, son utilizados por los usuarios finales para revisar los datos. Los tres programas interactúan con una base de datos MySQL que actúa como un repositorio para dispensar información de control de calidad.

Data Display y Data Review son dos páginas web de visualización JAMS que se pueden usar para analizar los datos de CC. Estas visualizaciones diferentes reflejan objetivos diferentes, con Data Display que proporciona una visualización directa de los datos sin procesar del balance de precisión y Data Review que proporciona una visualización de cambio de peso por placa. Ambas páginas web utilizan un sistema de gráficos JavaScript llamado CanvasJS [23](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454) para generar los gráficos dinámicos utilizados en las visualizaciones JAMS.

La página de visualización de datos, vista en la parte inferior de la [**Figura 4**](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454), se crea como una visualización de los datos brutos en tiempo real de la balanza y el sensor de fotointerruptor IR. Los datos se muestran como un gráfico de líneas escalonadas con ejes dobles para el peso y el valor del sensor. El eje de peso se escala automáticamente a los datos relevantes. Los datos del sensor se escalan entre 0 y 1 porque estos son los dos únicos estados discretos que el sensor puede tomar.

[
                        figura
                    ](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454)

**Figura 4.** ( **A** ) La visualización de la página web de revisión de datos, que muestra los resultados de 12 dispensaciones durante la prueba piloto, placa por placa. ( **B** ) Los mismos datos piloto de cribado de alto rendimiento (HTS) en una visualización de visualización de datos, demostrando que los valores brutos capturados del balance disminuyen a lo largo del tiempo y el estado del sensor cambia a medida que se inician y detienen las dispensaciones.

La página de revisión de datos, vista en la parte superior de la [**Figura 4**](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454), es una representación de los datos de CC en formato relativo placa por placa. Los suministros que se muestran en la página Revisión de datos registran tanto el número de suministros como sus transferencias masivas. Los datos se representan como un gráfico de barras, con cada barra dando el peso de esa dispensación. Dentro de cada barra, se muestra el tiempo de inicio de la dispensación.

Resultados

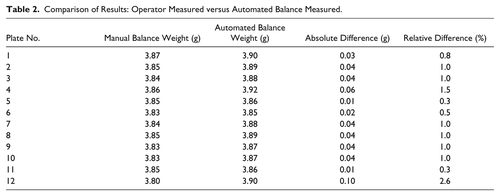
Para demostrar la capacidad de JAMS de proporcionar detección de errores en tiempo real y reportar problemas de dispensación, se realizó una serie de experimentos. Estos experimentos incluyeron operaciones de dispensación como parte de una campaña HTS estándar y una simulación separada de una falla de dispensación.

El primer método de verificación para JAMS fue una serie de pruebas piloto que emulaban campañas HTS estándar. En esta configuración, la plataforma Scripps HTS se ejecutó normalmente sin ninguna modificación, aparte de la adición de la plataforma JAMS instalada junto con el dispensador GNF. Los datos de muestra capturados de esta fase de prueba se pueden ver en la [**Figura 4**](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454). En la parte superior de esta figura, los datos de distribución de una serie de 12 placas se visualizan en un formato relativo de peso de distribución placa por placa. En la parte inferior de esta figura, se ven los datos sin procesar del balance y el sensor IR. Este conjunto de datos representa una serie de dispensaciones secuenciales de reactivos en placa que ocurren sin ningún fallo. Además, el conjunto de datos muestra un pequeño coeficiente de variación de peso de placa a placa (CV) de menos del 5%, que cae dentro de los límites de dispensación de HTS aceptables.

Durante la ejecución piloto, los resultados de la plataforma JAMS también se compararon con un método tradicional de control de calidad en el que el operador suspendía periódicamente la plataforma HTS para recuperar placas antes y después de dispensar para pesar en una balanza analítica fuera de línea. Los resultados de esta comparación para un subconjunto de placas se ven en la [**Tabla 2**](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454). La diferencia entre los pesos medidos por la plataforma JAMS y el pesaje manual del operador varió en un 1.0% en promedio, con la mayor diferencia entre las dos mediciones siendo 2.6%. Los datos obtenidos de cada balanza también fueron consistentes: el% CV de las mediciones del operador pesando fue de 0.47%, y el pesaje JAMS automatizado fue de 0.52%. Estos datos muestran que la plataforma JAMS mide con precisión y coherencia el peso dispensado en comparación con el control de calidad tradicional del operador.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| |  |  | | --- | --- | | [Mesa](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454) | **Tabla 2.** Comparación de resultados: Medidor del operador versus Saldo automatizado medido. | |

**Tabla 2.** Comparación de resultados: Medidor del operador versus Saldo automatizado medido.



[**Ver versión más grande**](https://journals.sagepub.com/na101/home/literatum/publisher/sage/journals/content/jlad/2018/jlad_23_5/2472630318769454/20180921/images/large/10.1177_2472630318769454-table2.jpeg)

La siguiente ronda de pruebas incluyó una serie de operaciones de dispensación seguidas de una falla de la válvula. La falla de la válvula se simuló desconectando la fuente de alimentación del conector electrónico de la válvula. En la [**figura 5**](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454), la visualización de datos muestra dos dispensaciones nominales, vistas como pesos linealmente decrecientes entre las señales de inicio y parada de la dispensación. Después de estas dos primeras dispensaciones, la falla simulada se observa cuando el peso medido de la placa disminuye en la visualización placa por placa y el peso bruto del saldo en la visualización de datos brutos ya no disminuye a la misma velocidad que tenía en la visualización dos dispensaciones anteriores Esto se denota por los datos circulados en la [**Figura 5**](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454). El error de suministro simulado activó una alerta por correo electrónico que notificó de inmediato al personal relevante que se había producido un error de suministro.

[
                        figura
                    ](https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2472630318769454)

**Figura 5.** ( **A** ) Prueba piloto que muestra un error en una operación de dispensación en la que la tercera dispensación ha encontrado un bloqueo simulado de la válvula y ya no emite el volumen correcto. ( **B** ) Visualización de visualización de datos de la salida de la balanza, lo que indica un error de dispensación.

Discusión

La plataforma JAMS representa un sistema de control de control de dispensación robusto, automatizado y económico para la dispensación de HTS. Esto se logró mediante la combinación de microcontroladores de bajo costo (incluido un Arduino y Raspberry Pi), una interfaz PHP-MySQL basada en la web, un sensor de fotointerruptor IR económico, piezas impresas en 3D y un equilibrio de precisión en un dispositivo IoT que cambia el paradigma . El costo total de la plataforma, incluido el equilibrio de precisión, fue inferior a $ 1500.

Las pruebas piloto han demostrado que la plataforma JAMS proporciona un control de calidad automático del dispensador sin ninguna interferencia en el rendimiento de la plataforma robótica. De hecho, opera completamente fuera de cualquiera de las utilidades de software o hardware de la plataforma, lo que lo hace fácilmente adoptable para otras plataformas. Los datos de las pruebas piloto también confirmaron que el sistema funcionaba según lo previsto y caracterizaron con éxito el rendimiento del dispensador a lo largo del tiempo. Después de completar una campaña de HTS, cualquier discrepancia observada en los resultados experimentales puede ser referenciada con los registros históricos de la dispensación para ese ensayo. El acceso a este tipo de información histórica puede revelar tendencias sobre inconsistencias de dispensación que pueden usarse para abordar el rendimiento del dispensador. Antes de la implementación de JAMS, los datos históricos para las operaciones de dispensación en Scripps Florida solo estaban disponibles para un pequeño porcentaje de placas HTS que un operador había recuperado y pesado manualmente utilizando una balanza fuera de línea. Además, las alertas en tiempo real generadas por la plataforma JAMS permiten a los operadores de HTS abordar los errores a medida que ocurren, lo que puede ahorrar reactivos preciosos, tiempo y otros consumibles. El beneficio final de estos factores es que las operaciones de HTS son más eficientes y robustas.

Hay una variedad de vías para el desarrollo potencial futuro de la plataforma JAMS. Estos incluyen aumentar el número de balanzas de precisión conectadas a la plataforma IoT para admitir un mayor número de dispensadores en paralelo. El sistema actual utiliza una balanza con un dispensador para monitorear la dispensación de líquidos. Las balanzas adicionales podrían permitir el monitoreo de múltiples dispensadores simultáneamente, o múltiples reactivos dispensados ​​desde el mismo dispensador simultáneamente. La infraestructura informática existente puede soportar esta actualización con cambios mínimos.

La sofisticación del procesamiento informático de JAMS también podría aumentarse agregando algoritmos para evaluar la tasa de dispensación de principio a fin. Actualmente, el algoritmo se basa en mediciones de punto final desde el inicio y el final de una dispensación para determinar el peso de dispensación de la placa completa. En teoría, los datos de una operación de dispensación que funcione correctamente tendrán una pendiente constante y decreciente al rastrear el peso. Se podría detectar automáticamente una pendiente que cambia durante el curso de una sola dispensación, identificando patrones de dispensación no uniformes.

Una integración más estrecha entre la plataforma JAMS y el software HTS, incluida la aplicación del planificador y el dispensador, permitiría una determinación más fácil de los pesos de dispensación esperados sin parámetros separados definidos por el operador. Esto podría lograrse a través de una interfaz de programación de aplicaciones de software (API) proporcionada por el proveedor de robótica HTS, o el sistema podría adaptarse para monitorear el tráfico de red de robótica HTS para determinar qué protocolo se está ejecutando. Además, los protocolos mismos podrían leerse o una lista de protocolos podría almacenarse en una tabla de base de datos que podría consultarse para determinar si el volumen de suministro resultante es aceptable en relación con el volumen de suministro objetivo. Otra ventaja potencial de una integración más estricta sería la capacidad de hacer correcciones automáticas en tiempo real para ajustar cualquier error en el peso del dispensador. Este sistema incorporaría control de retroalimentación, y alteraría los parámetros del método de dispensación sobre la marcha para acercar el peso de dispensación de futuras operaciones de dispensación al peso objetivo.

La introducción de la conectividad de red a dispositivos previamente desconectados los transforma en sistemas habilitados para IoT, mejorando la funcionalidad general de estos dispositivos y permitiendo a los usuarios tener un mayor control sobre su operación. El registro de los resultados de dichos sistemas permite tanto el análisis en tiempo real como la revisión posterior a los ensayos de los datos. Las tendencias en el rendimiento del suministro se pueden rastrear durante largos períodos de tiempo. Como cuestión práctica, la implementación de la plataforma JAMS lo demuestra al agregar el registro de datos totalmente automatizado y la generación de alertas a un sistema que anteriormente dependía del procesamiento intermitente y manual realizado por el operador robótico. El efecto final de este cambio sistemático es un aumento general en la eficiencia de la función de laboratorio.

**Declaración de intereses en conflicto**  
Los autores declararon no tener conflictos de intereses potenciales con respecto a la investigación, autoría y / o publicación de este artículo.

**Financiamiento**  
Los autores no recibieron apoyo financiero para la investigación, autoría y / o publicación de este artículo.

Referencias

|  |  |
| --- | --- |
| 1) | Cox, B., Denver, JC, Binnie, A .. Aplicación de técnicas de detección de alto rendimiento para el descubrimiento de fármacos . Prog. Medicina. Chem 2000 , 37, 83 - 133 . [Google Académico](http://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&publication_year=2000&pages=83-133&author=B.+Cox&author=J.+C.+Denver&author=A.+Binnie&title=Application+of+High-Throughput+Screening+Techniques+to+Drug+Discovery) |
| 2) | Curtis, R., Rodrigues, G .; Artel Comparación de tecnologías de calibración para el control de calidad de manejo de líquidos . <http://www.artel-usa.com/resource-library/comparing-technologies-for-pipette-calibration/> . [Google Académico](http://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&author=R.+Curtis&author=G.+Rodrigues&title=Comparing+Calibration+Technologies+for+Liquid-Handling+Quality+Assurance) |
| 3) | Baillargeon, P., Scampavia, L., Einsteder, R .. Monitoreo de la calidad de la biblioteca de compuestos HTS a través de un instrumento de procesamiento y adquisición de imágenes de alta resolución . J. Lab. Autom. 2011 , 16, 197 - 203 . [Google Académico](http://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&publication_year=2011&pages=197-203&author=P.+Baillargeon&author=L.+Scampavia&author=R.+Einsteder&title=Monitoring+of+HTS+Compound+Library+Quality+via+a+High-Resolution+Image+Acquisition+and+Processing+Instrument) | [SAGE Journals](https://journals.sagepub.com/doi/10.1016/j.jala.2011.02.004) |
| 4) | Noticias de Ingeniería Genética y Biotecnología. La visión artificial mejora el control de calidad de HTS . <https://www.genengnews.com/gen-articles/machine-vision-improves-hts-quality-control/2412> . [Google Académico](http://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&author=Genetic+Engineering+%26+Biotechnology+News&title=Machine+Vision+Improves+HTS+Quality+Control) |
| 5) | Cassaday, J., Shah, T., Berry, K .. En "Tiempo real" Control de procesos de ensayos HTS utilizando un sistema de inspección visual . Actas de la Conferencia de Automatización de Laboratorio 2008 , Palm Springs, CA , 2008 . [Google Académico](http://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&publication_year=2008&conference=Proceedings+of+the+Laboratory+Automation+Conference+2008&author=J.+Cassaday&author=T.+Shah&author=K.+Berry&title=%E2%80%9CReal+Time%E2%80%9D+Process+Control+of+HTS+Assays+Using+a+Vision+Inspection+System) |
| 6) | Biosoluciones HighRes. <http://highresbio.com/components/plateweigh.php> . [Google Académico](http://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&author=HighRes+Biosolutions) |
| 7) | Sistemas GNF. <http://gnfsystems.com/gallery/> , <http://gnfsystems.com/wp-content/uploads/2013/10/Plate-Balance.jpg> . [Google Académico](http://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&author=GNF+Systems) |
| 8) | II, JMG, Hart, AS abriendo nuevas fronteras en el desarrollo de la tecnología de las ciencias de la vida con la tecnología colaborativa de impresión 3D . J. Lab. Autom. 2016 , 21 (4), 487 - 488 . [Google Académico](http://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&publication_year=2016&pages=487-488&issue=4&author=J.+M.+G.+II&author=A.+S.+Hart&title=Opening+New+Frontiers+in+the+Development+of+Life+Sciences+Technology+with+Collaborative+3D+Printing+Technology) | [SAGE Journals](https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/2211068216647323) |
| 9) | Coakley, M., Hurt, DE Impresión 3D en el laboratorio: maximice el tiempo y los fondos con material de laboratorio personalizado y de código abierto . J. Lab. Autom. 2016 , 21, 489 - 495 . [Google Académico](http://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&publication_year=2016&pages=489-495&author=M.+Coakley&author=D.+E.+Hurt&title=3D+Printing+in+the+Laboratory%3A+Maximize+Time+and+Funds+with+Customized+and+Open-Source+Labware) | [SAGE Journals](https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/2211068216649578) |
| 10) | Woelfle, M., Ollairo, P., Todd, MH Open Science es un acelerador de investigación . Nature Chem. 2011 , 3, 745 - 748 . [Google Académico](http://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&publication_year=2011&pages=745-748&author=M.+Woelfle&author=P.+Ollairo&author=M.+H.+Todd&title=Open+Science+is+a+Research+Accelerator) |
| 11) | Chiu, S.-H., Urban, PL Plataforma de ensayo de espectrometría de masas asistida por robótica habilitada por Open-Source Electronics . Biosens Bioelectron. 2015 , 64, 260 - 268 . [Google Académico](http://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&publication_year=2015&pages=260-268&author=S.-H.+Chiu&author=P.+L.+Urban&title=Robotics-Assisted+Mass+Spectrometry+Assay+Platform+Enabled+by+Open-Source+Electronics) |
| 12) | Baden, T., Chagas, AM, Gage, G .. Software de laboratorio abierto: impresión 3D de su propio equipo de laboratorio . PLoS Biol. 2015 , 13 (3), e1002086. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002086> . [Google Académico](http://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&publication_year=2015&author=T.+Baden&author=A.+M.+Chagas&author=G.+Gage&title=Open+Labware%3A+3-D+Printing+Your+Own+Lab+Equipment) |
| 13) | Bruto, BC, Erkal, JL, Lockwood, SY. Evaluación de la impresión 3D y su impacto potencial en la biotecnología y las ciencias químicas . Anal. Chem 2014 , 86, 3240 - 3253 . [Google Académico](http://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&publication_year=2014&pages=3240-3253&author=B.+C.+Gross&author=J.+L.+Erkal&author=S.+Y.+Lockwood&title=Evaluation+of+3D+Printing+and+Its+Potential+Impact+on+Biotechnology+and+the+Chemical+Sciences) |
| 14) | Pearce, JM Cuantificando el valor del desarrollo de hardware de código abierto . Econ moderno. 2015 , 6, 1 - 11 . [Google Académico](http://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&publication_year=2015&pages=1-11&author=J.+M.+Pearce&title=Quantifying+the+Value+of+Open+Source+Hardware+Development) |
| 15. | Pearce, JM Open-Source Lab: cómo construir su propio hardware y reducir los costos de investigación. Amsterdam : Elsevier ; 2013 ; p 240 . [Google Académico](http://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&publication_year=2013&pages=240&author=J.+M.+Pearce&title=Open-Source+Lab%3A+How+to+Build+Your+Own+Hardware+and+Reduce+Research+Costs) |
| 16) | Pearce, JM Building Research Equipment con hardware gratuito de código abierto . Ciencias. 2012 , 337 (6100), 1303 - 1304 . [Google Académico](http://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&publication_year=2012&pages=1303-1304&issue=6100&author=J.+M.+Pearce&title=Building+Research+Equipment+with+Free%2C+Open-Source+Hardware) |
| 17) | Arduino [https://www.arduino.cc](https://www.arduino.cc/) . [Google Académico](http://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&author=Arduino) |
| 18) | Onshape [https://www.onshape.com](https://www.onshape.com/) . [Google Académico](http://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&author=Onshape) |
| 19) | todbot Arduino + Estuche Ethernet . 2017 . <https://www.thingiverse.com/thing:21939> . [Google Académico](http://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&publication_year=2017&author=todbot&title=Arduino%2BEthernet+Case) |
| 20) | PHP Procesador de hipotexto . [http://www.php.net](http://www.php.net/) . [Google Académico](http://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&author=PHP&title=Hyptetext+Processor) |
| 21) | MySQL [https://www.mysql.com](https://www.mysql.com/) . [Google Académico](http://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&author=MySQL) |
| 22) | Raspberry Pi. [https://www.raspberrypi.org](https://www.raspberrypi.org/) . [Google Académico](http://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&author=Raspberry+Pi) |
| 23) | CanvasJS. Gráficos HTML5 JavaScript . [https://canvasjs.com](https://canvasjs.com/) . [Google Académico](http://scholar.google.com/scholar_lookup?hl=en&author=CanvasJS&title=HTML5+JavaScript+Charts) |

[Ver resumen](https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/2472630318769454)