



CÓMO MEDIR SIN MEDIR

Los procesos industriales son dinámicos y cambiantes y para asegurarse que sus productos cumplan con los requerimientos deseados el poder monitorearlos es fundamental. ¿Pero cómo lograrlo cuando los factores que se deben vigilar no se pueden medir a medida que se desarrolla el proceso? ¿Y cómo esto puede aportar al estudio del cuerpo humano?

En la industria (como en los organismos vivos) se dan una gran cantidad de procesos químicos, físicos y biológicos. Su monitoreo a medida que ocurren permite identificar si se están dando bajo los parámetros necesarios para obtener los resultados buscados y, si no es así, hacer los ajustes correspondientes.

Temperatura, presión, porcentaje de una materia prima específica, la tasa de evaporación de otro insumo son solo algunas de las múltiples variables que se buscan medir en distintas industrias. Pero si no es posible hacerlo o su costo es muy alto, se tiene una dificultad que puede significar pérdidas en eficiencia, efectividad y en dinero.

El grupo de investigación en sistemas dinámicos – Kalman de la Universidad Nacional en Medellín, ha venido trabajando para lograr monitorear variables que no son posibles medir a partir de otras que sí son medibles construyendo modelos de los fenómenos que se dan en el proceso y validándolos experimentalmente.

Y el conocimiento que han adquirido les ha permitido estudiar e impactar más que procesos industriales.

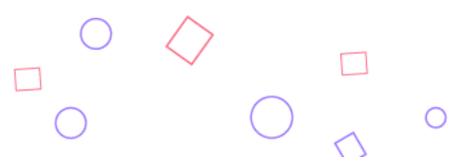
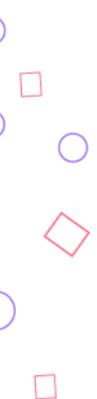
Industria de alimentos

Para construir modelos de los procesos a monitorear se debe elaborar un diagrama y una descripción verbal de ellos rigurosa y detallada, lo que demanda un gran entendimiento de los fenómenos involucrados. De este paso inicial depende que se pueda construir un *sistema de proceso* que explique las interacciones de los distintos elementos del mismo y su conexión con elementos externos.

Elly Acosta Otálvaro trabajaba como analista de investigación y desarrollo en la línea de materias primas cárnicas en Zenú cuando hizo su maestría en la UN e ingresó al grupo Kalman. Su proyecto se enfocó en entender y modelar el proceso de gelificación de los productos cárnicos y el papel que tienen las proteínas en él.

“Éstas juegan un papel fundamental en los procesos de elaboración de un producto cárnico gracias a que actúan como agentes emulsionantes que enlazan agua y grasa” explica la investigadora. Durante la elaboración de los productos cárnicos las proteínas presentan cambios estructurales por efecto de la temperatura, la adición de sales, los efectos mecánicos de los mezcladores o el orden en que se añaden los ingredientes. Y esos cambios tienen un impacto en la dureza del producto, una cualidad sensorial importante para el consumidor final.

Para entender la influencia de esas variables se plantea una hipótesis de modelado. En general los modelos usados con más frecuencia son los de caja negra que se ocupan de entender qué ingresa a un proceso y qué sale pero no en identificar los fenómenos puntuales dentro del mismo que logran esa transformación.





“El problema con ellos es que si cambia algo del proceso, debes elaborar un nuevo modelo empezando de cero” señala el profesor Hernán Álvarez, integrante del grupo. Existen modelos de caja blanca pero presentan un alto grado de complejidad por el elevado número de variables que deben ser incluidas.

Pero con una combinación de ambos (caja gris) se tiene la fenomenología del proceso y se puede predecir unas variables de forma puntual usando modelos existentes de caja negra con principios de conservación y balance de energía, representadas por ecuaciones matemáticas que dan cuenta de cómo la temperatura, el funcionamiento de la máquina o cualquier otro factor influyente impacta a las proteínas, el grado de emulsión y la cantidad de agua en el producto.

Una vez se tiene el modelo se hace correr en un simulador computacional ingresando distintos datos y los resultados que arroja se corroboran de forma experimental: esas mismas cifras usadas en el simulador se usan en la planta y se toman muestras para confirmar su validez con un análisis a posteriori.

Una vez confirmada la coincidencia de los resultados del simulador con los experimentales, tengo un modelo que predice la variable que busco, en este caso la dureza del producto.

El sabor del chocolate

Camila González es ingeniera química y explorando temas para su proyecto de investigación encontró que el llamado conchado del chocolate era una variable que se estimaba de manera algo empírica y fuera de línea. En el proceso de manufactura del chocolate se recogen los granos de cacao, se fermentan, se secan y se tuestan.

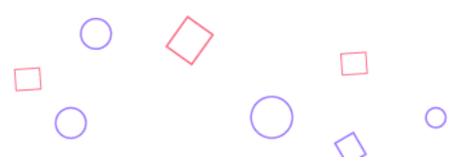
Luego se convierten en un polvo muy fino al que se le agrega licor de cacao, azúcar, manteca de cacao y leche. Esta mezcla se agita en una máquina llamada concha a temperaturas entre 40 y 60 centígrados durante varias horas para desarrollar su textura y eliminar ciertos elementos volátiles que amargan el sabor del chocolate.

Un mayor grado de conchado del chocolate indica una mejor calidad sensorial para el consumidor pero el monitoreo del proceso depende de muestras tomadas durante distintos momentos que se analizan después de terminado. Estas es una oportunidad para el grupo: identificar las variables que impactan el grado de conchado para desarrollar una medición en línea.

Al estudiar el proceso de conchado reportado en literatura especializada la investigadora González encontró “que un indicador del conchado del chocolate es la concentración de dos elementos volátiles: Tetrametilpirazina (TMP) y Benzaldehído (BA)”. Y en la eliminación de estos elementos la humedad juega un papel fundamental.

Entonces se identificó que con la concentración de TMP, BA y la humedad de la mezcla se puede estimar el grado de conchado pero estas variables son difíciles de medir en línea ya que se necesita un cromatógrafo específico de gases para detectarlos cuyo costo es alto.

Sin embargo la concha tiene medidores de la temperatura del chocolate y de la velocidad de las aspas en la máquina a los que se añadió un sensor externo de temperatura y humedad relativa de los vapores que salen del equipo. Con esta información sobre el proceso se construye un modelo del mismo con un algoritmo matemático que representa todas estas variables.





Se ingresan al modelo las cifras de las mediciones que si se pueden obtener y corre en un computador dando cifras de la concentración de compuestos volátiles y de la humedad. Con las muestras tomadas durante el proceso de conchado se confirma sí son correctas y cuando no lo son, el algoritmo vuelve a correr corrigiendo el error y afinándose hasta tener un margen aceptable de diferencia entre lo estimado y lo real.

Con esto se pudo desarrollar una interfaz gráfica para que los funcionarios de la planta pudieran monitorear el proceso y así tomar decisiones como subir la temperatura, añadir manteca o cualquier acción necesaria para obtener un chocolate con el sabor y textura deseado.

Modelar la glucosa en el cuerpo humano

Otra área en la que el grupo ha venido desarrollando esta metodología es en el entendimiento de procesos en el cuerpo humano como el comportamiento de la glucosa en el organismo. Este proyecto atrajo a la bioingeniera Laura Lema ya que su madre tiene diabetes y esto podría mejorar su calidad de vida.

Generalmente el estudio de este tema se ha centrado en el páncreas por su rol fundamental en el control de la glucosa en la sangre pero recientemente se ha adoptado un enfoque sistémico que incluya a los demás órganos involucrados en su metabolismo: el estómago, los intestinos, el hígado y los riñones.

Para modelar qué sucede con la glucosa en cada uno de ellos y su impacto en la concentración de ésta en la sangre se deben estudiar muy bien los fenómenos que intervienen y la fisiología humana para así definir las variables con las que es necesario contar.

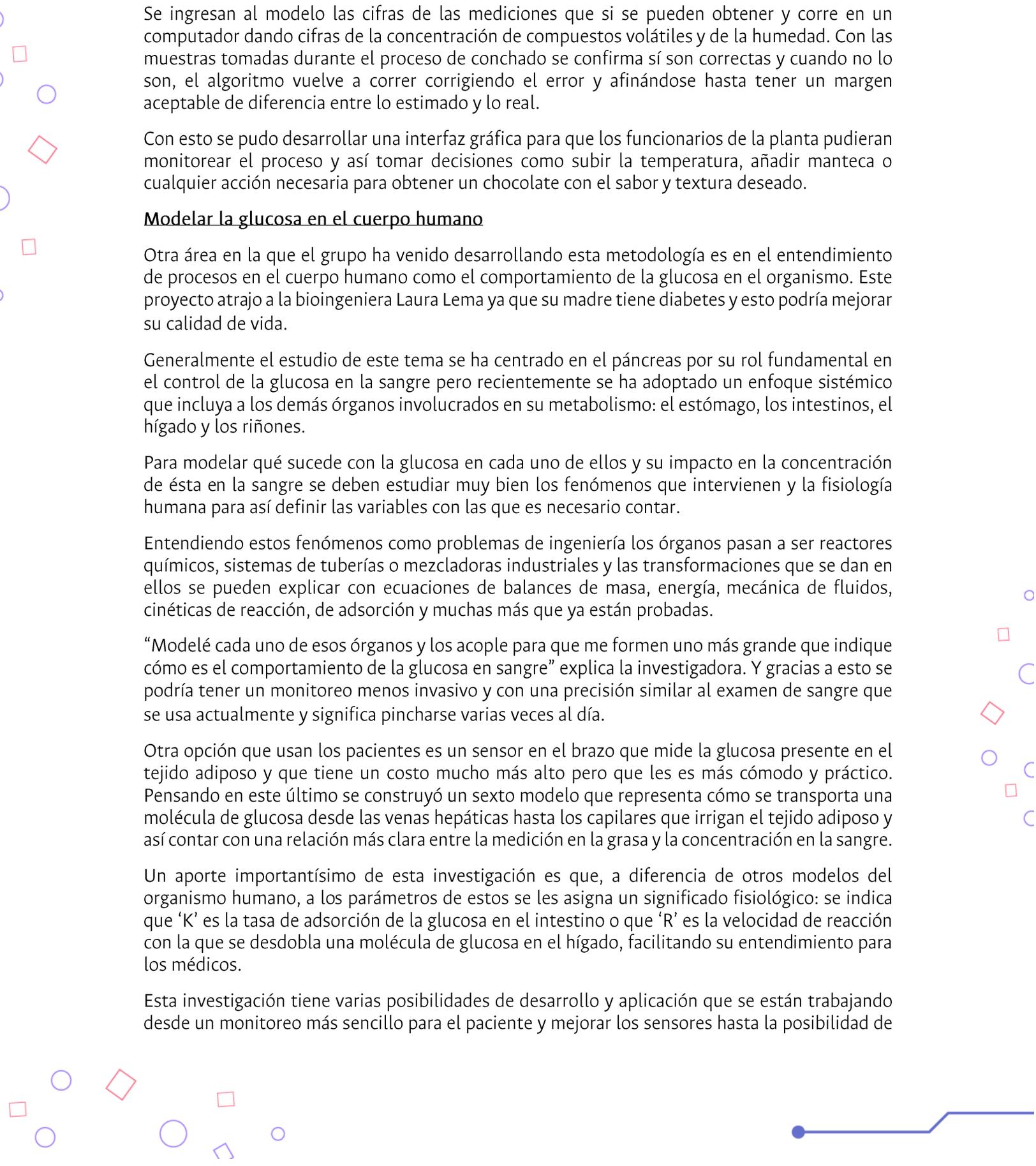
Entendiendo estos fenómenos como problemas de ingeniería los órganos pasan a ser reactores químicos, sistemas de tuberías o mezcladoras industriales y las transformaciones que se dan en ellos se pueden explicar con ecuaciones de balances de masa, energía, mecánica de fluidos, cinéticas de reacción, de adsorción y muchas más que ya están probadas.

“Modelé cada uno de esos órganos y los acople para que me formen uno más grande que indique cómo es el comportamiento de la glucosa en sangre” explica la investigadora. Y gracias a esto se podría tener un monitoreo menos invasivo y con una precisión similar al examen de sangre que se usa actualmente y significa pincharse varias veces al día.

Otra opción que usan los pacientes es un sensor en el brazo que mide la glucosa presente en el tejido adiposo y que tiene un costo mucho más alto pero que les es más cómodo y práctico. Pensando en este último se construyó un sexto modelo que representa cómo se transporta una molécula de glucosa desde las venas hepáticas hasta los capilares que irrigan el tejido adiposo y así contar con una relación más clara entre la medición en la grasa y la concentración en la sangre.

Un aporte importantísimo de esta investigación es que, a diferencia de otros modelos del organismo humano, a los parámetros de estos se les asigna un significado fisiológico: se indica que ‘K’ es la tasa de adsorción de la glucosa en el intestino o que ‘R’ es la velocidad de reacción con la que se desdobra una molécula de glucosa en el hígado, facilitando su entendimiento para los médicos.

Esta investigación tiene varias posibilidades de desarrollo y aplicación que se están trabajando desde un monitoreo más sencillo para el paciente y mejorar los sensores hasta la posibilidad de





crear apps que alerten al paciente de sus niveles de glucosa o incluso automatizar las bombas de insulina sin tener que depender de la calibración de un médico especialista.

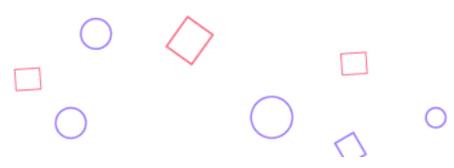
Los modelos basados en la fenomenología de los procesos estudiados, como es el enfoque del grupo Kalman, no solo permiten estimar estados que no son posibles medir directamente sino que son más robustos y flexibles al poder acoplar nuevas variables o situaciones que vayan surgiendo sin tener que empezar de nuevo con una modelación.

Y eso brinda beneficios en tiempo, costo y conocimiento que impactan no solo la operación de las industrias sino que pueden ser un alivio para la salud y calidad de vida de millones de personas.

Palabras claves: procesos industriales; sistemas dinámicos; gelificación cárnicos; emulsionantes; caja negra; caja gris; conservación y balance de energía; simulador; conchado del chocolate; elementos volátiles; Tetrametilpirazina; Benzaldehído; algoritmos; glucosa; diabetes; metabolismo; páncreas; fisiología humana; modelos basados en fenomenología;

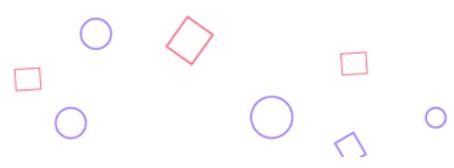


Emulsión productos cárnicos (Tomada de EcuRed https://www.ecured.cu/Archivo:Emulsi%C3%B3n_c%C3%A1rnica.JPG)



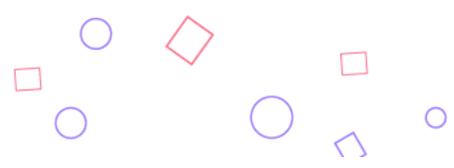


La dureza de los productos cárnicos es una de las características fundamentales para el consumidor. (Imagen tomada de redalimentaria.com)



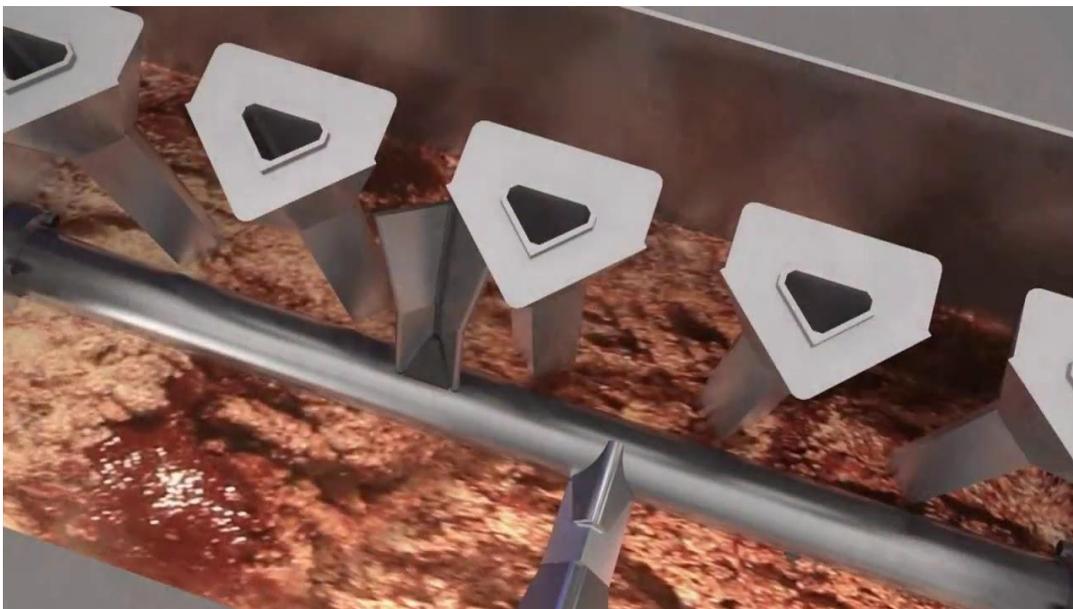


En planta se reproducen las variables indicadas por el modelo para validar que se obtiene las características deseadas y confirmar la precisión del mismo. (Imagen tomada de la web de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano – zamorano.edu -)

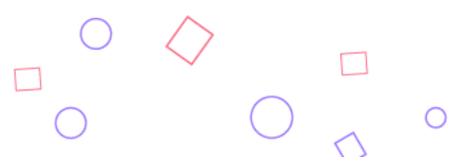


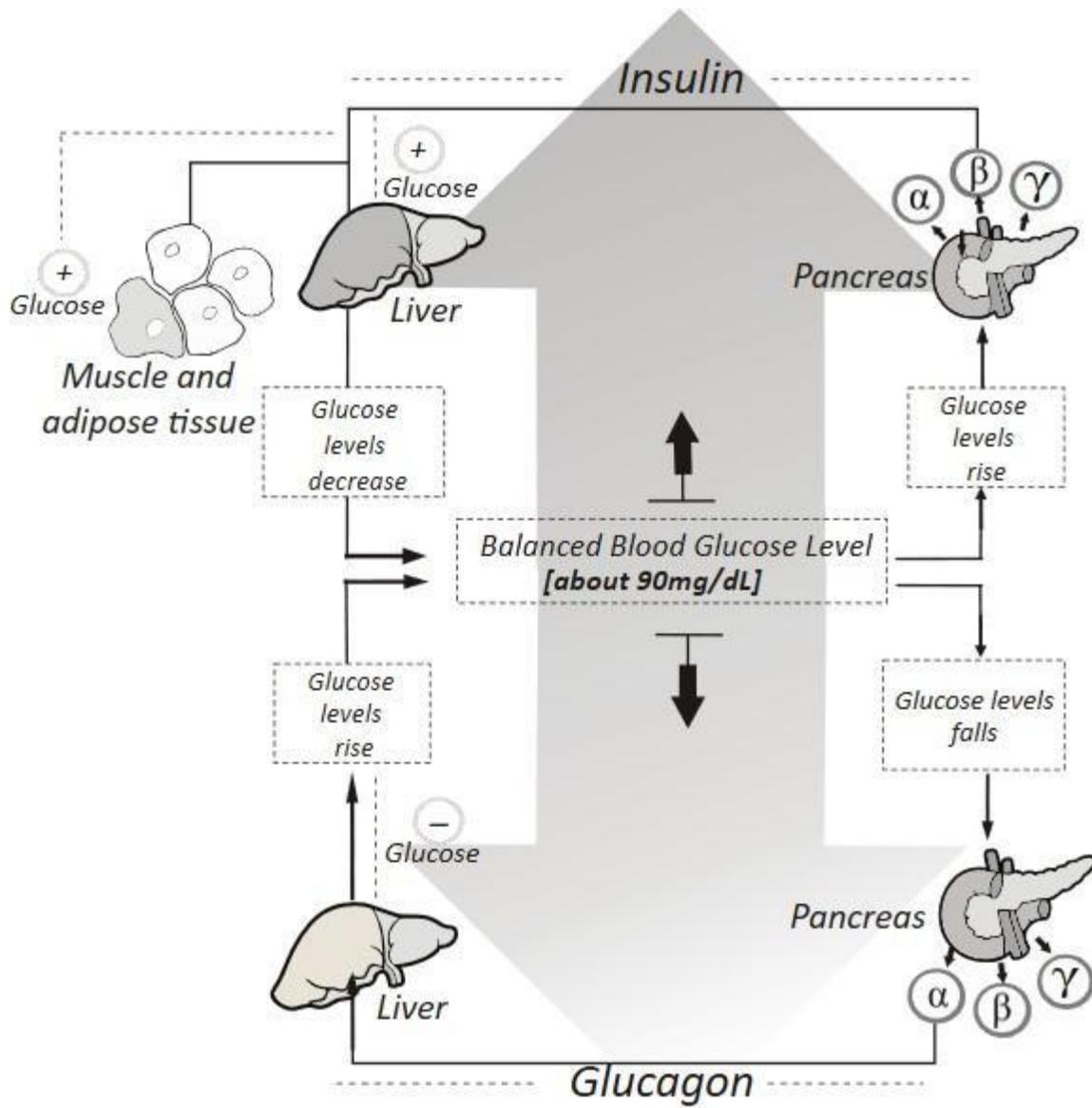


Conchadora de chocolate de 40 a 3000 kg capacidad. (imagen tomada de web maestromanolo.es)



Proceso de conchado (imagen tomada canal de youtube Comersa Trading <https://www.youtube.com/watch?v=wxvYaoiGzK4>)



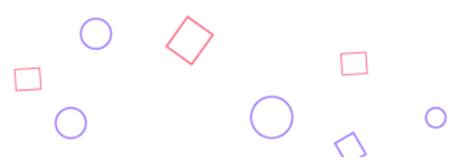


Homeostasis de la glucosa en el cuerpo humano. (Tomado de la tesis doctoral de Laura Lema 'Interpretabilidad de parámetros en modelos semi físicos con base fenomenológica. Un modelo de homeostasis de glucosa en el cuerpo humano')



El monitoreo de la glucosa en la sangre es fundamental para el manejo de la diabetes. (Foto tomada de la agencia de noticias de la Universidad Nacional

<https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fagenciadenoticias.unal.edu.co%2Fdetalle%2Farticle%2Ffojo-personas-con-diabetes-son-mas-propensas-a-infarto-si-no-hacen-ejercicio-fisico.html&psig=AOvVaw0VOQw9aV9vWT00t1EwLRJD&ust=1620836566782000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCID6vpKFwvACEQAAAAAdAAAAABAO>)





La bomba de insulina facilita el día a día de las personas con diabetes. Una mayor precisión en el monitoreo de la glucosa haría más eficiente y efectiva su labor. (Tomado de freepik.es)

