



**Conversión de procesos biológicos SBR
en biología de membranas MBR.
Una alternativa técnica sostenible.**



**Rubén Martínez Suárez,
Pablo García González**

WEHRLE MEDIOAMBIENTE SL
info@wehrle.es

Octubre 2020

RESUMEN

El proceso **SBR** (Sequencing Batch Reactor) es un proceso biológico discontinuo y secuencial ampliamente usado desde hace décadas para depuración de aguas residuales.

En algunas ocasiones, debido a distintas causas asociadas habitualmente con la tipología del agua residual, los requisitos de calidad del vertido o el propio diseño del proceso, este tipo de tecnología presenta importantes limitaciones para una depuración segura y eficaz. Para esos casos, la alternativa de convertir el SBR en un **proceso MBR** (Membrane BioReactor) es una solución factible, rápida y económica que posibilita incrementar incluso hasta en 5 veces la carga diaria de DQO y nitrógeno a tratar y mejorar sustancialmente la calidad del efluente tratado, sin necesidad de incrementar el volumen biológico de tratamiento ni requerir amplios espacios de implantación adicionales.

En el presente artículo se exponen las características básicas de los procesos SBR y MBR, las diferencias más significativas entre ambos que ayudan a la elección de la tecnología de depuración adecuada y las consideraciones generales a tener en cuenta para llevar a cabo la conversión de un SBR en un MBR, particularizando en tres casos de éxito realizados por la empresa alemana WEHRLE UMWELT GmbH.

PALABRAS CLAVE

Depuración de aguas, SBR, MBR, Biorreactor de Membranas, Lixiviados, BIOMEMBRAT, Ultrafiltración, MTD, aguas residuales de alta carga.

PROCESO SBR

Un reactor discontinuo secuencial **SBR** (del inglés Sequencing Batch Reactor) es un sistema de depuración biológica de aguas residuales mediante fangos activos cuya principal característica es que todos los procesos requeridos para la depuración se realizan de forma secuencial dentro de un mismo reactor.

El sistema SBR consta básicamente de cuatro etapas o fases cíclicas:

- FASE DE LLENADO: En la que se alimenta el agua residual a depurar al reactor SBR.
- FASE DE REACCIÓN: En la que se realiza la depuración biológica del agua residual por medio de los microorganismos presentes en el fango activo, alternando habitualmente fases aeróbicas y anóxicas.
- FASE DE SEDIMENTACIÓN: En la que se deja decantar el fango activo en el propio reactor para producir la separación de este del agua depurada.
- FASE DE VACIADO: En la que se vacía hasta un nivel definido el agua depurada biológicamente y al final del cual el reactor SBR está en disposición de poder retornar a la fase de llenado.

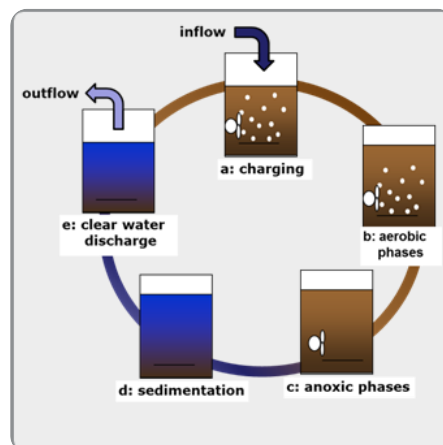


Figura 1: Esquema secuencial típico de un proceso SBR

Este tipo de procesos tienen unas determinadas ventajas que hacen que hayan sido utilizados en multitud de instalaciones industriales desde hace décadas. Entre las ventajas más relevantes de estos procesos es que se trata de sistemas que no requieren altas inversiones y tienen unos costes de operación moderadamente reducidos. En contraposición, un SBR presenta sin embargo diversas limitaciones como son su discontinuidad, lo cual hace precisar de un depósito previo de almacenamiento, la incapacidad en algunas de sus aplicaciones para alcanzar una calidad del efluente suficientemente adecuada y una baja estabilidad de operación, la cual es en gran medida sensible a las variaciones de carga y caudal del agua a depurar.

Otra característica fundamental de este tipo de procesos es que la separación del fango del agua depurada se realiza por sedimentación en el propio reactor por lo que depende en gran medida de la sedimentabilidad del lodo biológico, existiendo un alto riesgo de aparición de fenómenos de “bulking” produciendo en este caso una pérdida de biomasa activa y afectando negativamente a la calidad del vertido.

PROCESO MBR

El proceso de depuración biológico mediante Reactor Biológico de Membranas (MBR, del inglés Membrane BioReactor) hace referencia a la combinación de un proceso biológico de fangos activos en el que la separación de la biomasa se realiza mediante membranas de ultrafiltración, en lugar de la clásica separación por sedimentación. El uso de membranas confiere al MBR unas características específicas que lo convierten en MTD (Mejor Técnica Disponible) para la depuración biológica de aguas residuales. Existen fundamentalmente dos tipos de tecnologías MBR: las que usan **membranas sumergidas** en el lodo biológico y las que aplican **membranas externas**. En este artículo nos centraremos en tecnologías MBR con membranas externas.

Entre las ventajas fundamentales del MBR para el tratamiento de aguas residuales están principalmente que son plantas muy compactas, con una operación sencilla y muy automatizada, que ocupan una mínima área de implantación y requieren de volúmenes biológicos muy reducidos. Son procesos que confieren una alta estabilidad del proceso, incluso con cargas variables, debido a la alta especialización de los microorganismos y la alta calidad del efluente que se consigue mediante una retención segura de la totalidad de la biomasa activa por medio de las membranas de ultrafiltración.

En contraposición, un proceso MBR se caracteriza por precisar en regla general de una inversión habitualmente superior a otras tecnologías de depuración de aguas.

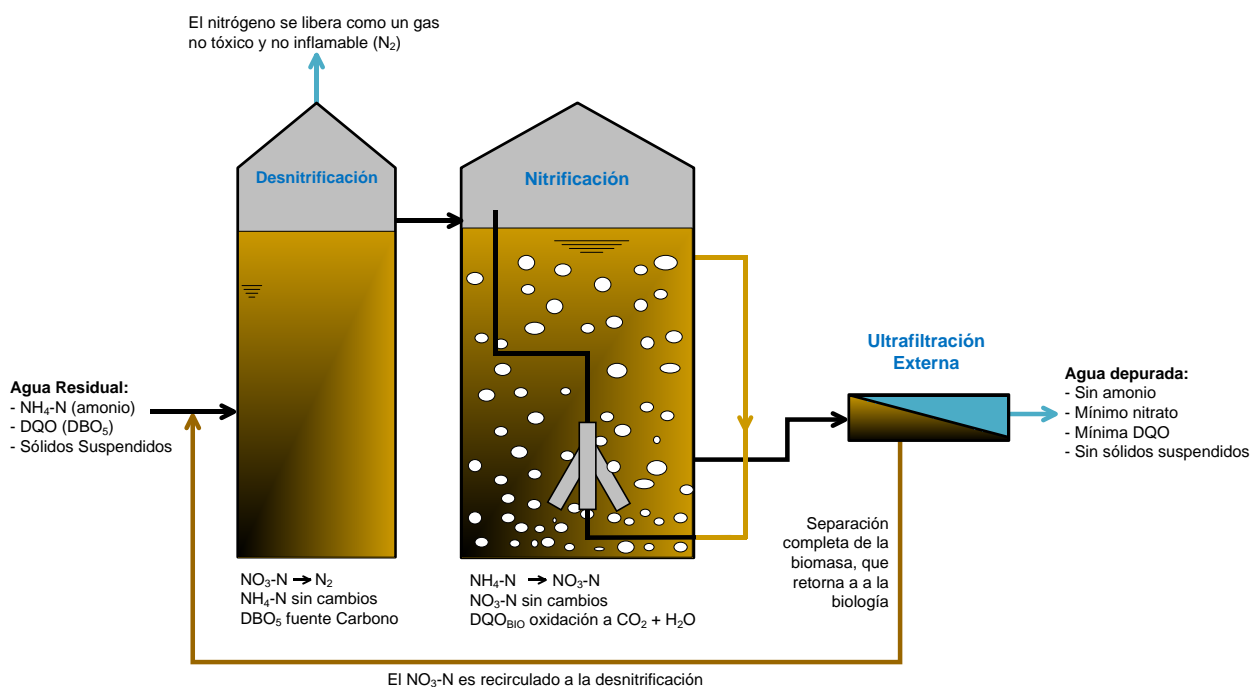


Figura 2: Esquema simplificado de un proceso MBR con membranas externas

El proceso MBR está especialmente indicado para el tratamiento de aguas residuales industriales complejas con altas cargas orgánicas y amoniacaes y permite alcanzar rendimientos de depuración a los que otras tecnologías no serían capaces de llegar.

COMPARATIVA ENTRE SBR Y MBR

A la hora de escoger una determinada tecnología de depuración se deberán considerar distintos factores como las características de entrada del agua residual, la calidad requerida en el efluente final, el espacio disponible y la inversión asumible por parte de la propiedad.

En base a estas consideraciones, cada tipo de tecnología tendrá su aplicación y su nicho de mercado correspondiente.

Las principales diferencias técnicas entre SBR y MBR, que permiten la selección de la tecnología adecuada son:

- **Características del proceso:** El sistema SBR es un proceso discontinuo (alimentación por cargas), que trabaja con concentraciones de biomasa en el rango no superiores a los 5 g/l MLSS para que la sedimentación sea adecuada y con alturas de reactor habituales no superiores a los 6 metros. El MBR por el contrario es un proceso continuo (alimentación 24/7) y que, al prescindir de la sedimentación y realizar la separación mediante membranas, permite trabajar con concentraciones de hasta 25 g/l MLSS y con alturas de reactor de hasta 10 metros. Estas diferencias hacen que los volúmenes biológicos y el área de implantación necesarios para un proceso MBR sean muy inferiores a los requeridos para un proceso SBR.
- **Calidad del efluente:** Con un MBR, debido a que la ultrafiltración presenta una barrera física, se obtiene un efluente completamente libre de sólidos suspendidos. Esta condición permite asimismo una mayor especialización de los microorganismos (mayor edad del lodo) consiguiendo alcanzar una ratio de eliminación de DQO y amonio muy elevada. Por regla general con un proceso MBR es posible conseguir un efluente con una calidad mucho mayor que con un proceso SBR (DQO un 50-60% inferior a la obtenida en las mismas circunstancias con un proceso SBR y unos valores de amonio inferiores a 10 mg/l). Respecto a las tasas de desnitrificación aunque la concentración de nitratos en el efluente es comparable en ambas tecnologías, el SBR presenta mayores riesgos de inhibición del proceso biológico que en el MBR por combinación de altas concentraciones de amonio y elevado pH durante la fase de desnitrificación anóxica.
- **Generación de lodos exceso:** Debido a la mayor concentración de biomasa y mayor edad del lodo con el que se opera un proceso MBR, el lodo exceso generado en un proceso MBR es significativamente más bajo que el generado en un SBR.

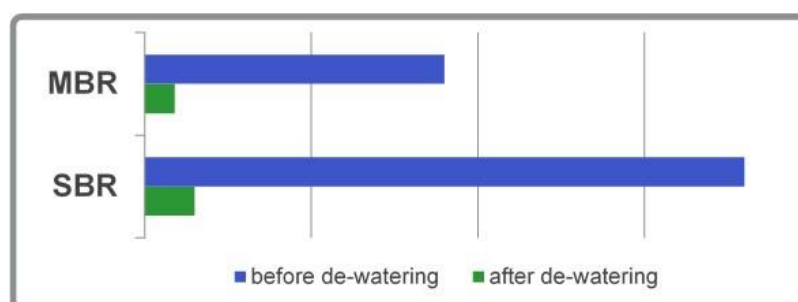


Figura 3: Comparativa cualitativa de lodo exceso generado en procesos MBR y SBR

- **Estabilidad del proceso:** Los procesos SBR son mucho más sensibles a los cambios de composición del agua residual que los procesos MBR, los cuáles suelen causar cambios de la biomasa que afectan a la sedimentación y por consiguiente produciendo una pérdida de biomasa y un empeoramiento de calidad de vertido. El sistema de separación de biomasa con membranas de un proceso MBR está menos influenciada por las características reológicas del lodo, permitiendo una alta adaptación a los cambios en la entrada sin afectar al proceso. Por otro lado, al ser el MBR un proceso continuo la evolución de los parámetros operativos (pH, oxígeno disuelto, temperatura, dosificación de químicos) es estable y continua en el tiempo, lo cual hace que el control y la operación de la instalación sea más sencilla que en un SBR.
- **Consumo energético:** Para un mismo efluente, el consumo energético de un proceso MBR es por regla general superior al de un proceso SBR debido en gran parte a los altos requerimientos energéticos que precisan en un MBR el bombeo de la ultrafiltración los cuáles son compensados en parte por una mayor eficiencia energética de la aireación en un MBR
- **Combinación con tratamientos terciarios:** Debido a la gran calidad del efluente obtenida con un proceso MBR y al hecho de estar completamente libre de sólidos, la implementación de tratamientos terciarios de afino posterior al biológico (reducción de sales, reutilización) son más sencillas y eficaces tras un proceso MBR que tras un proceso SBR.

Tabla 1: Comparativa general entre un SBR y un MBR

	MBR	SBR
Tipo de alimentación	Continua (24/7)	Discontinua (por cargas)
Necesidad de tanque pulmón previo	Opcional	Imprescindible
Reacciones aerobias/anóxicas	En reactores independientes N/DN	Todas en el mismo reactor SBR
Concentración fangos en el reactor (MLSS)	15-20 g/l	4-5 g/l
Sistema de aireación	Eyectores	Platos difusores
Método de separación fangos activos	Por membranas de UF	Por sedimentación en el propio reactor SBR
Riesgo de Bulking	Inexistente	Alto
Turbidez del efluente	< 0.2 NTU	> 0.2 NTU
Reducción de DQO	++	+
Reducción de NH ₄ -N	++	+
Reducción de S.S.	++	-
Reducción de sales	o	o
CAPEX	-	+
OPEX	+	++
Modularidad	++	-
Necesidad de espacio de implantación	++	-
Estabilidad de proceso	++	-
Adecuado para tratamiento de lixiviados	++	o

	MBR	SBR
Adecuado para efluentes de alta carga	++	o
Adecuado para efluentes con bajas cargas y sin limitaciones de espacio	o	++
Interfaz con posteriores etapas de tratamiento	++	-

TRANSFORMACION DE UN SBR A MBR

En ciertas ocasiones se da el caso que tras haber implantado un proceso SBR, la propiedad se encuentra que la solución instalada no permite alcanzar los requisitos de depuración exigidos. Posibles causas para este incumplimiento pueden ser variadas: cambio de las características del agua residual real respecto a las consideradas en diseño (concentración, caudal); modificación de los requerimientos de vertido; diseño incorrecto del proceso, etc.

Cuando esto sucede, una alternativa tecnológica de mejora es la **conversión del proceso SBR en un proceso MBR**, que permite **reaprovechar** en su mayor parte **la instalación existente** a la vez que consigue alcanzar los requisitos de depuración de forma **económica, rápida y con garantías de éxito**.

El estudio técnico de los requisitos para la conversión de un SBR en un MBR es específico y personalizado a cada instalación particular, si bien hay una serie de criterios generales comunes a tener en cuenta:

1. **Análisis de las condiciones actuales:** La propiedad deberá facilitar lo más detalladamente posible la situación real y actualizada de la instalación:
 - o Caracterización detallada del agua residual existente; límites de vertido requeridos presentes y/o futuros; limitaciones específicas del proyecto (espacio, altura, ubicación, ruido, cambio futuro normativa, otras consideraciones técnicas).
 - o Datos detallados de la instalación SBR actual (Ingeniería, diseño, dimensionamiento de equipos, datos de operación).
 - o Razones por las que la propiedad considera que el SBR no cumple con sus expectativas y necesidades (caudal de tratamiento insuficiente, incumplimiento de límites de vertido, incumplimiento de otra normativa específica, problemas operativos, exceso de costes, dificultad de operación, etc.)
2. **Análisis de las causas del incumplimiento:** Con todos los datos recopilados se debe realizar un estudio detallado y justificado sobre las causas técnicas específicas que llevan al funcionamiento inadecuado del SBR, entre las que típicamente se encuentran el diseño o dimensionamiento incorrecto de distintas unidades del sistema (volumen biológico, aireación, refrigeración, nutrientes, programación...); el incumplimiento sistemático de los requisitos de vertido o problemas operativos (bulking, espumas, etc.).
3. **Estudio de alternativas y propuestas de mejora:** En base al análisis anterior se plantean las intervenciones requeridas para la conversión del SBR en MBR que consigan reutilizar la mayor parte de la instalación SBR existente.

Una de las actuaciones imprescindibles para convertir un SBR en un proceso MBR es la implementación de un sistema de membranas externas de **ultrafiltración** como método de separación de los fangos activos, conectada al reactor biológico SBR existente que en principio pasaría a ser operado en continuo como **reactor aireado de nitrificación/eliminación de DQO**. Se deberá asimismo estudiar la necesidad de adecuar el resto de equipamiento al nuevo proceso (aireación, refrigeración, zonas de anoxia, dosificación de reactivos, tratamientos terciarios, etc.) y actualizar correspondientemente la lógica de operación de la instalación con un **nuevo programa PLC/SCADA**.

Los sistemas de membranas externas de ultrafiltración externa son muy compactos y se suelen suministrar pre-montados en rack o dentro de contenedor marítimo estándar, completamente probados y listos para su conexión y uso, de forma que la conversión de un SBR en un MBR suele ser un proyecto rápido y sencillo de implementar y con una mínima interfase con la instalación SBR existente.

El espacio requerido para la instalación de una ultrafiltración externa es muy reducido. En un contenedor comercial de 40 pies (12 metros largo por 2,5 metros ancho) es posible ubicar, en función de la aplicación, un sistema de ultrafiltración completo con capacidad hidráulica de hasta **500 m³/d**.



Figura 4: Interior de dos contenedores de UF. Izda.: Dos calles; Dcha.: Calle individual.

CONCLUSIONES

Convertir una instalación SBR en un proceso MBR es una alternativa técnica sostenible que confiere las siguientes ventajas y mejoras al SBR existente:

- Permite reutilizar la mayor parte de las instalaciones del SBR existente.
- Permite incrementar hasta en más de 5 veces la carga de DQO y nitrógeno a tratar sin necesidad de incrementar el volumen biológico de reacción.
- Permite alcanzar un efluente con una muy alta calidad (ausencia de sólidos suspendidos, muy baja DQO, amonio residual prácticamente cero) que permite cumplir límites de vertido muy estrictos o incluso plantear una reutilización de agua.
- Permite incorporar tratamientos terciarios de manera directa, económica y eficaz.
- Son soluciones muy compactas, que tienen muy bajos requerimientos de área de implantación adicional.
- La instalación es sencilla y rápida, con poca interfase entre la instalación SBR y los nuevos equipos.
- Es una solución económica que aporta grandes mejoras en capacidad de tratamiento y calidad de vertido con reducida inversión.

CASO DE EXITO

Se presentan a continuación los casos de éxito en tres instalaciones realizadas por la empresa WEHRLE UMWELT GmbH en las que se llevó a cabo la conversión de un proceso SBR en un MBR:

- CTR ECOPARC, Barcelona, España.
- Vertedero RNP IGORRE, Vizcaya, España.
- Vertedero RSU LILLYHALL, Reino Unido.

CONVERSIÓN SBR EN MBR



CTR ECOPARC, Barcelona, España

Antes:



Después:



TABLA COMPARATIVA:

	SBR	MBR + OI
Caudal [m ³ /d]	150	300
Carga DQO [Kg DQO/d]	2.400	4.800
Carga Nitrógeno [Kg N/d]	420	840
Carga volumétrica [Kg DQO/m ³ .d]	1,2	2,4
Punto de descarga	Indirecto	Directo

CONVERSIÓN SBR EN MBR



Vertedero RNP IGORRE, Vizcaya, España

Antes:



Después:



TABLA COMPARATIVA:

	SBR	MBR
Caudal [m ³ /d]	100	300
Carga DQO [Kg DQO/d]	200	1.500
Carga Nitrógeno [Kg N/d]	90	165
Carga volumétrica [Kg DQO/m ³ .d]	0,55	3,35

CONVERSIÓN SBR EN MBR

Vertedero RSU LILLYHALL, Reino Unido

Antes:



Después:



TABLA COMPARATIVA:

	SBR	MBR
Caudal [m ³ /d]	100	100
Footprint [m ²]	1.500	900
Carga volumétrica [Kg DQO/m ³ .d]	0,14	1,4
OPEX	> 10 £/m ³	< 2,5 £/m ³