



GUÍA PARA OPERADORES Y O&M · PLANTAS FOTOVOLTAICAS

SUNBRUSH® MOBIL · SUNBOTICS

# MÁS ENERGÍA, MENOS DESGASTE

Cómo la limpieza profesional aumenta la producción de tu planta solar y, al mismo tiempo, reduce el estrés de cada componente – eléctrico y mecánico.

# TU PLANTA PIERDE DINERO — Y NO LO VES

Como responsable de una planta solar, conoces esta sensación: los números no terminan de cuadrar. La producción baja poco a poco, mes a mes, sin una causa evidente.

No hay una alarma. No hay una falla clara. Solo... menos energía de la que deberías estar generando. Y, mientras tanto, asumes que es normal. Que «así funcionan los paneles».

**No lo es. La suciedad no solo te roba kWh hoy — está envejeciendo tu inversión completa, celda por celda.**

Cada capa de polvo, cada mancha de ave, cada líquen es mucho más que un problema estético. Es una fuente de pérdidas y de estrés para tus módulos, tus diodos, tus conexiones y tu inversor.

Y cada día que pasa sin un sistema de limpieza, esa factura silenciosa crece — primero en energía, después en vida útil. Lo más peligroso de este problema es precisamente que no duele: no aparece como una avería, sino como una lenta erosión del rendimiento que terminas normalizando.

## EL SÍNTOMA QUE CASI NADIE CONECTA

Si tu Performance Ratio cae de forma sostenida sin explicación climática, si ves franjas o módulos visiblemente más sucios que sus vecinos, o si la lluvia «ya no limpia como antes» — no es casualidad. Es la cuenta del silencio empezando a pasar.

## EN ESTA GUÍA

Verás el daño que no aparece en ningún informe: el estrés eléctrico y mecánico que acorta la vida de tu activo, el costo real de no actuar — y el sistema en 3 pasos para revertirlo.

**¿NO TIENES TIEMPO DE LEERLO TODO?**

Agenda una evaluación gratuita · +49 160 9899 4133

# NO DECIDIR TAMBIÉN ES UNA DECISIÓN

Muchos operadores creen que «esperar» es la opción neutra, la que no cuesta nada. Es justo al revés: no hacer nada es la única alternativa que te cobra todos los días, sin pausa y sin aviso.

Mientras evalúas, postergas o «lo dejas para la próxima temporada», la suciedad no se detiene. Sigue bloqueando luz, sigue generando puntos calientes y sigue degradando el material. La inacción no congela el problema – **lo deja correr a interés compuesto.**

**Cada día sin limpiar tiene dos costos, y solo uno de ellos se recupera.**

- **El costo de hoy (recuperable):** los kWh que no generaste por la luz bloqueada. Una limpieza los devuelve casi de inmediato.
- **El costo de mañana (irreversible):** el envejecimiento acelerado de células, diodos, soldaduras y sellos por estrés térmico y mecánico. Eso no vuelve. Ninguna limpieza futura recupera la vida útil que ya quemaste.

Por eso la inacción es tan traicionera: la parte barata del problema (energía) es la que sí podrías recuperar, y la parte cara (vida útil del activo) es la que se va para siempre con cada semana que pasa.

## LA PREGUNTA CORRECTA

Deja de preguntarte «¿cuánto cuesta limpiar?». La pregunta que define tu ROI es: **«¿cuánto me está costando, cada mes, no hacerlo bien?»**. En las próximas páginas le ponemos número.

## EL RELOJ QUE NO SE DETIENE

«Lo veo el próximo mes» ya tiene un precio: treinta días de producción perdida que no vuelve, más treinta días de ciclos térmicos castigando tus diodos y tus células. La factura ya se está emitiendo – solo que aún no la lees.

## PRODUCCIÓN: EL ROBO MÁS OBVIO

Cada partícula sobre el vidrio bloquea una fracción de la luz que debería llegar a la célula. Y en una planta de cientos o miles de módulos, esas fracciones se suman rápido.

En zonas con polvo, arena o sal — como gran parte del norte de Chile — la acumulación es constante, y la lluvia rara vez limpia de verdad: muchas veces solo reseca el barro y empeora el problema, dejando una costra más adherida que la suciedad original.

**5-30%**

Pérdida de rendimiento por suciedad, según la ubicación (rango habitual del sector)

**hasta 30%**

Más rendimiento recuperable con una limpieza adecuada\*

**Y lo peor no es la media, sino la desigualdad.**

La suciedad casi nunca se reparte de forma uniforme. Hay módulos limpios junto a módulos muy sucios; bordes con costra junto a centros despejados. Esa desigualdad es la que dispara el verdadero problema — el que no aparece en tu informe de producción.

Porque a partir de aquí, la suciedad deja de robarte solo energía... **y empieza a dañar tu planta.**

### RECUERDA

**La producción perdida es solo la punta del iceberg.** Es la parte que sí puedes medir. El daño real ocurre debajo, en los componentes — y ese no aparece en la curva diaria de generación.

\* El potencial de recuperación depende del nivel de suciedad, la ubicación y la frecuencia de limpieza; cifra referencial del fabricante.

# ESTRÉS ELÉCTRICO: EL PUNTO CALIENTE

Tus células están conectadas en serie. Eso significa que toda una cadena (string) produce al ritmo de su eslabón más débil.

Cuando una célula está sucia o sombreada, produce menos corriente — pero las demás la siguen empujando. Esa célula pasa a comportarse como una resistencia: en lugar de generar energía, la disipa en forma de calor. Es lo que se conoce como **punto caliente (hot spot)**.

CORRIENTE → CÉLULAS LIMPIAS → **QUELLO DE BOTELLA** → CORRIENTE LIMITADA



Una sola célula sucia limita toda la cadena y se convierte en un punto caliente.

## El efecto en cadena

- Los **diodos de bypass** se activan una y otra vez para esquivar la zona afectada — y sufren ciclos térmicos que los desgastan y los hacen fallar.
- El calor localizado puede **fisurar células**, quemar el backsheet y dejar daños permanentes.
- La temperatura de operación sube, y **más temperatura = degradación más rápida** de todo el módulo.

## RESULTADO

Un módulo que «solo estaba sucio» termina perdiendo capacidad de forma irreversible.

# ESTRÉS MECÁNICO: EL DESGASTE LENTO

Mientras lo eléctrico golpea rápido, lo mecánico actúa despacio – y por eso es tan fácil de ignorar hasta que ya es tarde.

- **Erosión del vidrio y del recubrimiento antirreflejo:** la suciedad incrustada, los líquenes y los excrementos de aves atacan la superficie y reducen de forma permanente la transmisión de luz.
- **Efecto represa en el borde inferior:** la suciedad se acumula como una costra que retiene humedad y polvo, favoreciendo la corrosión del marco y los sellos, y el riesgo de delaminación.
- **Fatiga de soldaduras y conexiones:** los ciclos térmicos provocados por los puntos calientes estresan mecánicamente las interconexiones – aparecen microfracturas.

**Pero el mayor riesgo mecánico no es la suciedad. Es limpiar mal.**

Una limpieza incorrecta hace más daño que la propia suciedad. Y es justo lo que ocurre cuando se improvisa:

- Escobas o cepillos industriales que **rayan el vidrio**.
- Presión despareja que **maltrata la célula y el marco**.
- Agua dura que deja **manchas de cal**, y químicos abrasivos que destruyen el antirreflejo.
- Y, muchas veces, la **anulación de la garantía** del fabricante.

## LA CONCLUSIÓN INCÓMODA

**No limpiar te cuesta. Limpiar mal te cuesta más.** Solo una limpieza regular y correcta resuelve las dos caras del problema a la vez.

**¿QUIERES SABER CUÁNTO PIERDE TU PLANTA?**

Evaluación gratuita · [manuel@purokonzept.cl](mailto:manuel@purokonzept.cl)

## EL EFECTO DOMINÓ: PAGAS DOS VECES

Ninguno de estos daños ocurre aislado. Se encadenan – y el resultado es una planta que produce menos hoy y se gasta antes de tiempo.

- 1 **Suciedad desigual** sobre los módulos
- 2 **Mismatch y puntos calientes** – corriente limitada y calor localizado
- 3 **Estrés térmico y mecánico** en células, diodos, soldaduras y sellos
- 4 **Degradación acelerada** y más trabajo para el inversor (MPPT contra el desbalance)
- 5 **Menos vida útil + menor ROI** y garantías en riesgo

**De una capa de polvo a una pérdida permanente de valor del activo. Pagas dos veces: en energía perdida hoy y en vida útil perdida mañana.**

Módulos diseñados para durar 25 o 30 años se degradan antes. Y el costo no aparece en una factura – aparece en el rendimiento que nunca recuperas y en el día, varios años antes de lo previsto, en que un string deja de rendir lo que debería.

**ROMPE LA CADENA ANTES DE QUE TE CUESTE.**

Agenda tu evaluación gratuita · +49 160 9899 4133

# LA CUENTA DEL SILENCIO TIENE NÚMEROS

«No actuar» se siente gratis porque no llega ninguna boleta. Pero el costo existe — solo que se paga en producción que no ves y en vida útil que no notas. Pongámoslo en cifras con un ejemplo ilustrativo.

## EJEMPLO ILUSTRATIVO

Planta de 5 MWp · generación típica de referencia ≈ 9.000 MWh/año · pérdida por suciedad asumida 10% (rango habitual del sector, conservador para zonas con polvo) · precio de energía referencial USD 60/MWh. Cifras de ejemplo; tu caso real se calcula en la evaluación.

Energía que no generas por suciedad (10% de 9.000 MWh)	≈ 900 MWh/año
Valor de esa energía perdida (× USD 60/MWh)	≈ USD 54.000/año
Equivalente por mes de inacción	≈ USD 4.500/mes

**Cada mes que «lo dejas para después»**

**≈ USD 4.500 que no vuelven**

Y eso es solo la parte recuperable — la energía. No incluye el costo del envejecimiento acelerado: diodos que fallarán antes, módulos que se degradan más rápido, garantías en riesgo. Ese segundo costo no cabe en la tabla porque no se recupera con ninguna limpieza posterior.

**El silencio no es ahorro. Es una deuda que crece mientras no actúas.**

Un operador que limpia de forma sistemática no «gasta» ese dinero: lo convierte en kWh facturables y en años extra de vida del activo. El que espera, simplemente lo regala.

## EL PUNTO CLAVE

No es «¿puedo permitirme limpiar?» — es «¿puedo permitirme no hacerlo?». Una evaluación gratuita reemplaza estas cifras de ejemplo por las de tu planta: tu pérdida real, tu costo mensual de inacción y tu punto de equilibrio.

## LA BUENA NOTICIA: TODO ESTO ES PREVENIBLE

Aquí está el giro: cada problema que viste en las páginas anteriores se revierte con una sola cosa bien hecha – una limpieza regular, uniforme y correcta.

Lo que logra una limpieza adecuada:

- **Recupera producción:** vuelve a llegar la luz a la célula, y la curva sube.
- **Elimina el mismatch:** sin zonas sucias, no hay cuellos de botella ni puntos calientes.
- **Protege los componentes:** menos calor, menos ciclos de diodos, menos fatiga mecánica.
- **Frena la corrosión:** al retirar la costra del borde, el marco y los sellos respiran.
- **No añade daño:** con el método correcto, limpiar deja de ser un riesgo.

Por eso la limpieza no es un gasto. **Es protección de tu activo – con retorno inmediato en kWh.**

La pregunta deja de ser «¿cuánto cuesta limpiar?» y pasa a ser «¿cuánto me cuesta no hacerlo bien?». La diferencia está en el cómo. Y ahí entra el sistema.

### LA CLAVE

**Uniforme, suave y sin químicos.** Son las tres condiciones que convierten la limpieza en producción y en protección al mismo tiempo. Veamos quién las cumple.

# SUNBRUSH® MOBIL: EL REFERENTE MUNDIAL

SunBrush mobil es el fabricante líder mundial de sistemas móviles de limpieza para instalaciones solares – con más de 15 años de desarrollo y equipos operando en más de 50 países.



*SunBrush® TrackFlex en operación: el cabezal mantiene presión uniforme sobre cada módulo mientras avanza.*

15+

Años desarrollando y fabricando tecnología de limpieza solar

50+

Países con equipos SunBrush en operación

10.000

m<sup>2</sup> por hora de rendimiento de limpieza

## El detalle que cambia todo: WashTronic

El problema del «limpiar mal» se resuelve con su sistema patentado **WashTronic**: mantiene una presión de cepillo constante y uniforme sobre cada módulo, compensando las irregularidades del terreno – tanto en seco como en húmedo. Los equipos se acoplan hidráulicamente a casi cualquier tractor, excavadora o manipulador telescópico estándar.

### POR QUÉ IMPORTA PARA TI

**Presión uniforme = cero daño mecánico al limpiar.** Recuperas producción sin pagar el precio de las microrrayas, el desbalance ni la garantía anulada.

## DEL GRAN PARQUE AL ACCESO MÁS DIFÍCIL

La tecnología se adapta a tu instalación — no al revés. Dos configuraciones cubren desde grandes plantas en suelo hasta filas estrechas y accesos complejos.



**TrackFlex · grandes superficies.** Brazo de largo alcance sobre tractor para barrer filas largas con alto rendimiento por hora. Ideal para parques en suelo de gran escala.



**Eagle full electric · flexibilidad y huella mínima.** Montado sobre un pick-up eléctrico, llega a accesos complejos con maniobrabilidad fina y operación limpia.

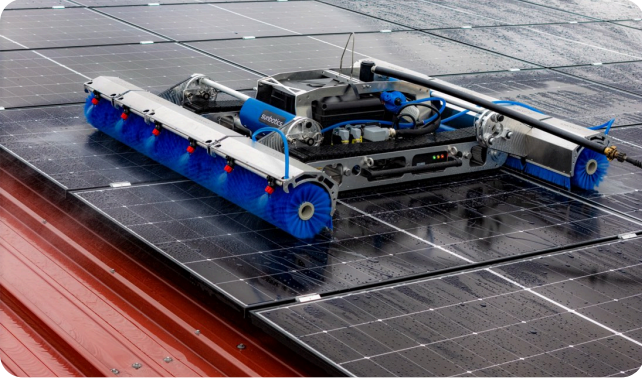
El Eagle ofrece la misma presión uniforme allí donde un tractor no entra cómodo — con cero emisiones locales y una huella mínima sobre el terreno.

### LA IDEA

**Mismo principio — presión constante, sin químicos, sin daño — en distintos formatos.** La evaluación define qué configuración rinde mejor en la geometría y el acceso de tu planta.

## SUNBOTICS + EL CABEZAL DUO-1000

Cuando la suciedad ya es costra, líquen o requiere precisión total, entra el robot modular sunbotics: control remoto, totalmente modular y con brazos inteligentes que se adaptan a la superficie del módulo.



*sunbotics – parada automática en el borde del módulo (edge detection).*



*DUO-1000 – limpieza profunda y pulido en una sola pasada.*

### DUO-1000: limpieza profunda, cero químicos

Desarrollado para la suciedad más rebelde, elimina incluso líquenes sin usar químicos. Con cuatro boquillas de alta presión, hace limpieza profunda por delante y pulido por detrás en una sola pasada.

1

Sola pasada: limpieza profunda + pulido

0

Químicos: sin daño al recubrimiento antirreflejo

100%

Compatible con el sistema sunbotics, listo en minutos

- **Se adapta a la superficie:** limpia sin dejar residuos aunque el módulo esté curvado o irregular.
- **Parada automática en el borde:** máxima seguridad para tu activo.
- **Modular en minutos:** se arma, desarma y reconfigura según cada planta.

# NO ES TEORÍA. ES RENDIMIENTO.

El objetivo de todo esto es uno solo: que tu planta produzca más y dure más. Y eso se mide.

**+30%**

Más rendimiento recuperable con una limpieza adecuada\*

**10.000**

m<sup>2</sup>/h de capacidad de limpieza

**50+**

Países que ya confían en la tecnología

A esto se suma lo que no aparece en un solo número: menos puntos calientes, menos ciclos de diodos, menos corrosión y menos fatiga mecánica. Es decir, **una planta que envejece más despacio.**

## Cómo se ve en la práctica

El indicador honesto es tu propio **Performance Ratio antes y después** de una limpieza correcta, documentado en tu monitoreo. En la evaluación gratuita medimos el punto de partida de tu planta y proyectamos la recuperación esperable para tu zona, tu tecnología y tu nivel de suciedad – con números tuyos, no de catálogo.

### EN UNA FRASE

**Producción que sube. Componentes que sufren menos. Un activo que vale más.**

**¿LISTO PARA VERLO EN TU PLANTA?**

Agenda tu evaluación gratuita · [sunbrush-chile.netlify.app](https://sunbrush-chile.netlify.app)

\* Cifra referencial del fabricante; depende del nivel de suciedad, la ubicación y la frecuencia de limpieza.

# POR QUÉ LA MAYORÍA LO HACE MAL

La realidad en gran parte de las plantas es esta – y precisamente ahí está tu oportunidad:

- **Limpian solo cuando es obvio:** reaccionan a la suciedad visible, cuando el daño eléctrico ya lleva semanas ocurriendo.
- **Usan el método equivocado:** mano de obra improvisada, cepillos inadecuados y químicos que dañan más de lo que limpian.
- O directamente **no limpian «para ahorrar»** – y pagan el doble en rendimiento y vida útil.
- Tratan la limpieza como un costo, no como lo que realmente es: **protección del activo.**

## ELLOS

- ✗ Producción irregular
- ✗ Componentes que envejecen rápido
- ✗ Sorpresas y mantenimiento correctivo

## TÚ, CON UN SISTEMA

- ✓ Producción estable y mayor
- ✓ Activo protegido, vida útil más larga
- ✓ Planificación y control

## LA OPORTUNIDAD

Quien sistematiza la limpieza obtiene una ventaja que los demás no pueden alcanzar mientras sigan improvisando.

# 1

## PASO UNO

# MEDIR Y DIAGNOSTICAR

No puedes mejorar lo que no mides. El primer paso es saber, con datos, cuánto pierdes y dónde.

- Mide el **Performance Ratio (PR)** de forma mensual.
- Estima tu **tasa de soiling** (pérdida diaria por suciedad) con celdas de referencia o comparando strings limpios vs. sucios.
- Identifica **puntos calientes** con inspección o termografía (drones).
- Separa las pérdidas por suciedad de las pérdidas climáticas registrando **radiación y clima**.

### OBJETIVO DEL PASO

Un diagnóstico claro: **cuánto rendimiento pierdes, dónde, y qué componentes están en riesgo.**

# 2

## PASO DOS

# LIMPIAR CORRECTAMENTE

El método, no solo la acción. Aquí se decide si la limpieza suma o resta. La diferencia entre recuperar producción y dañar tu activo está en el cómo:

- **Herramienta correcta:** cepillos diseñados para vidrio fotovoltaico – nunca escobas ni cepillos industriales.
- **Presión constante y uniforme** (tipo WashTronic) que protege la célula y el marco.
- **Agua de baja dureza o limpieza en seco** donde el agua es escasa – sin manchas de cal.
- **Sin químicos abrasivos** que ataquen el recubrimiento antirreflejo.
- **Momento adecuado:** evita módulos calientes y horas de máxima radiación.
- **Frecuencia por zona:** el norte desértico no es la zona central; ajusta el plan a tu realidad.

### OBJETIVO DEL PASO

Recuperar producción **sin añadir ni un gramo de daño** mecánico, eléctrico ni químico.

**¿QUIERES EL MÉTODO APLICADO A TU PLANTA?**

Lo definimos en tu evaluación gratuita · +49 160 9899 4133

# 3

## PASO TRES

# SISTEMATIZAR = PROTECCIÓN CONTINUA

Convertirlo en un ciclo. Una limpieza puntual da un respiro. Un sistema da resultados permanentes. El tercer paso convierte todo lo anterior en un proceso predecible.

- Define un **plan de limpieza recurrente** por zona y por estación.
- **Documenta cada intervención:** fecha, método y PR antes/después.
- **Revisa la tendencia:** el PR documentado te dice si la frecuencia es la correcta.
- **Ajusta y repite** – la planta deja de depender de que «alguien se acuerde».

Cuando la limpieza es un ciclo y no una reacción, la protección de tus componentes es constante – y la producción, estable.

### OBJETIVO DEL PASO

Pasar de apagar incendios a operar con control: **planificado, documentado y repetible.**

## LO QUE GANAS CON EL SISTEMA

No es solo limpieza. Es una planta que produce más, dura más y te da menos sorpresas.

### — MÁS PRODUCCIÓN

kWh recuperados de forma inmediata y sostenida.

### — VIDA ÚTIL MÁS LARGA

Menos estrés térmico y mecánico = degradación más lenta.

### — MENOS FALLAS

Menos puntos calientes y diodos castigados; menos correctivo.

### — GARANTÍAS PROTEGIDAS

Limpieza correcta que no compromete la cobertura del fabricante.

### — MEJOR ROI

Más energía y un activo que mantiene su valor en el tiempo.

### — TRANQUILIDAD

Un proceso planificado en lugar de reaccionar al desgaste.

En una frase: más energía hoy y una planta que dura años más.

**EMPIEZA POR UNA EVALUACIÓN  
GRATUITA.**

Tus pérdidas, tus puntos calientes y tu plan ·  
[manuel@purokonzept.cl](mailto:manuel@purokonzept.cl)



## TU SIGUIENTE PASO

# DESCUBRE CUÁNTO RENDIMIENTO — Y CUÁNTA VIDA ÚTIL — ESTÁS DEJANDO IR.

Si llegaste hasta aquí, ya sabes que la suciedad le cuesta a tu planta mucho más que unos kWh. La pregunta es cuánto, exactamente, en tu instalación.

- Cuánta **producción** estás perdiendo realmente
- Dónde están tus **puntos calientes** y componentes en riesgo
- Tu **costo mensual de inacción** y tu punto de equilibrio
- El **plan de limpieza** correcto para tu zona y tu tecnología
- Cómo pasar de reactivo a un **sistema que produce y protege**

## AGENDA TU EVALUACIÓN GRATUITA

**CORREO** [manuel@purokonzept.cl](mailto:manuel@purokonzept.cl)

**WHATSAPP / TEL.** [+49 160 9899 4133](tel:+56916098994133)

**SITIO WEB** [sunbrush-chile.netlify.app](https://sunbrush-chile.netlify.app)

\* El potencial de recuperación de rendimiento depende del nivel de suciedad, la ubicación y la frecuencia de limpieza; cifra referencial del fabricante. Las cifras económicas de la pág. 08 son un ejemplo ilustrativo y no constituyen una proyección de tu planta. Esta guía es material informativo y no sustituye una evaluación técnica. · SunBrush® mobil y sunbotics son marcas de SunBrush mobil GmbH. · Material preparado por SunBrush® Chile · Manuel Jost, representante en Chile · Diseño: Puro Konzept.